



**Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Curso de Engenharia de Energia**

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTUDAR A  
IMPLEMENTAÇÃO DE TERMELÉTRICA A  
BIOMASSA NO BRASIL**

**Autor: Beatriz Gabrielle de Carvalho Pinheiro  
Orientador: Dsc. Luciano Gonçalves Noletto  
Co-Orientadora: Josiane do S. A. de S. O. Campos**

**Brasília, DF  
2018**



**BEATRIZ GABRIELLE DE CARVALHO PINHEIRO**

# **PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTUDAR A IMPLEMENTAÇÃO DE TERMELÉTRICA A BIOMASSA NO BRASIL**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Luciano Gonçalves Noletto

Co-Orientador: Josiane do S. A. De S. O. Campos

**Brasília, DF  
2019**

### **CIP – Catalogação Internacional da Publicação**

Carvalho Pinheiro , Beatriz Gabrielle.

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTUDAR A  
IMPLEMENTAÇÃO DE TERMELÉTRICA A BIOMASSA NO  
BRASIL / Beatriz Gabrielle de Carvalho Pinheiro. Brasília: UnB,  
2019.

Monografia Graduação – Universidade de Brasília  
Faculdade do Gama, Brasília, 2019. Orientação: Luciano  
Gonçalves Noleto.

1. Palavra Chave. 2. Palavra chave. 3. Palavra chave3 I.  
Gonçalves Noleto, Luciano. II. Título.

CDU Classificação



## **PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTUDAR A IMPLEMENTAÇÃO DE TERMELETRICAS A BIOMASSA NO BRASIL**

**Beatriz Gabrielle de Carvalho Pinheiro**

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em \_\_\_\_\_ apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

---

**Prof. Dsc. Luciano Gonçalves, UnB/ FGA**  
Orientador

---

**Prof.: Josiane do S. A. De S. O. Campos , UnB/ FGA**  
Co-Orientadora

---

**Prof.: Maria Vitória Duarte Ferrari , UnB/ FGA**  
Membro Convidado

---

**Prof.: Tallita Nunes, UnB/ FGA**  
Membro Convidado

Brasília, DF  
2019

À quem esteve ao meu lado em cada palavra  
escrita desse trabalho, Bê.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais e a minha avó (*in memorian*), Ildo, Cristina e Vilda, por todo o carinho e atenção que me deram ao longo de toda minha vida. Tudo o que eu sou hoje, eu devo a vocês.

Agradeço também a minha irmã Bárbara, que esteve ao meu lado em todos os momentos, bons e ruins, que enfrentei em minha vida. Obrigada por sempre ter sido meu suporte nas dificuldades enfrentadas ao longo do curso.

Agradeço a Ceila, o Leonardo, a Isabella e a Isadora, por acreditarem nos meus sonhos e objetivos e sempre estarem torcendo para eu conquistá-los.

Agradeço ao meu querido companheiro Renan, por me incentivar e ser exemplo de um excelente profissional. Obrigada pelo apoio e pela colaboração nessa fase da minha vida.

Agradeço enormemente ao meu Professor Orientador, Luciano Noleto, por ter me dado a oportunidade de aprender e crescer na construção desse trabalho. Obrigada pelos ensinamentos e pelas pessoas incríveis que tive a oportunidade de trabalhar.

Agradeço a minha Co-Orientadora Professora Josiane Aguiar, por suas inúmeras colaborações durante a construção desse trabalho. Caso, um dia eu me torne professora, eu me espelharei nos seus ensinamentos e na sua forma de transmitir conhecimento.

Agradeço também as Professoras Maria Vitória e Paula Meyer, que me proporcionaram contribuições importantíssimas, não somente para esse trabalho, mas para a minha formação.

E por fim, agradeço a todos os meus amigos, especialmente a Beatriz e o Francisco, obrigada por todo carinho, ajuda e amizade de vocês. Agradeço aos professores da Faculdade do Gama, em particular à Professora Maura Shzu e novamente a Professora Paula Meyer, pela participação no Projeto CATAVENTO. A experiência do trabalho com vocês e com os alunos do CEM me fizeram crescer e contribuir para o futuro daqueles que ainda estão em formação.

Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina. Cora Coralina.

## RESUMO

O trabalho apresenta, em formato de artigos, um estudo metodológico para implementar mini Usinas Termelétricas a biomassa de geração distribuída de Casca de Arroz no Brasil. O método da metodologia se baseia no método Hipotético-Dedutivo, onde a cada nova suposição é possível obter resultados e diante dos mesmos se dá continuidade ou não. O método se mostrou eficiente para o estudo, já que a cada nova hipótese foi possível analisar os resultados obtidos até atingir os objetivos propostos de forma bem fundamentada. A divisão dos capítulos em artigos influenciou na tomada de decisão, já que separadamente cada um deles representa uma análise a fim de viabilizar o processo da construção metodológica. A proposta metodológica criada para mapear as possíveis localidades de mini usinas a casca de arroz de geração distribuída, teve como base o sistema de informação geográfica com a utilização do software QGIS e para análise financeira das mesmas usou-se o software System Advisor Model (SAM), simulador de projetos energéticos, e o método proposto por Brasil, et al (2018). Foram avaliados diferentes parâmetros e casos do empreendimento e o melhor cenário econômico encontrado apresenta um *payback* de 4 anos, o VPL de 88,98 milhões de reais e uma TIR de 27%. O projeto viabiliza técnica-economicamente a implementação de 8 mini UTEs a casa de arroz no Brasil, todas se localizam estrategicamente: próxima das biomassas, do sistema interligado nacional e das rodovias brasileiras, totaliza aproximadamente 40 MW de potência instalada no país.

**Palavras-chave:** Casca de Arroz. SIG. Cartografia.



## ABSTRACT

This work presents, in the form of papers, a methodologic study to implement mini biomass thermoelectric powerplants with distributed generation of Rice Husk in Brazil. The methodology is based on the hypothetic-deductive method, in which after every new supposition it is possible to obtain results and decide if the calculations will be carried on or not. The method is efficient for this study, since after each new hypothesis it is as possible to analyze the results and reach the proposed goals in a very fundamented manner. The chapters influenced in the decision making, since separately each one of them represents an analysis that aims to make feasible the process of methodological construction. The methodology created to identify the possible locations for the mini plants with distributed generation in Brazil was based on the system of geographic information with the use of the software QGIS and for the financial analysis was used two different models. Different parameters and cases of the project were evaluated and the best economic scenario found presents a payback of 4 years, the NPV of 88.98 million reais and a IRR of 27%. The project guarantees both technical and economic viability the implementation of 8 mini thermoelectric powerplants with Rice Husk in Brazil, all of them located strategically: next to the biomasses, to the national integrated system and to the highways, and totalize approximately 40 MW of installed power in the country.

**Keywords:** Rice Husk. GIS. Cartography.

## LISTA DE FIGURAS E FLUXOGRAMAS

Figura 1 – Perspectiva do setor agrícola em 2050 (ton/ha).....	19
Figura 2 – Tabela da geração de energia por fonte no Brasil (GWh). ....	27
Figura 3 – Tabela do potencial instalado por fonte no Brasil (kW). ....	28
Figura 4 – Processos de conversão relacionados a diferentes Biomassas.....	29
Figura 5 – Fluxograma da geração de Energia a partir do Licor Negro.....	30
Figura 6 – Geração de energia a partir do Bagaço de Cana.....	31
Figura 7 – Cartograma de concentração de UTE's as Biomassas de estudo no Brasil. .....	32
Figura 8 – Cartograma das linhas de transmissão com as UTE's. ....	33
Figura 9 – Cartograma das linhas rodoviárias com as UTE's.....	34
Figura 10 – Tabela de geração do Licor Negro em $10^3$ T nos últimos 10 anos.....	37
Figura 11 – Tabela de geração de Bagaço de cana $10^3$ Ton nos últimos 10 anos....	37
Figura 12 – Tabela de consumo por região geográfica (GWh).....	40
Figura 13 – Projeções do Setor Arrozeiro ( $10^3$ Tonelada).....	43
Figura 14 – Cartograma da concentração de casca de arroz no Brasil.....	48
Figura 15 – Cartogramas comparativos sobre casca de arroz, linhas de transmissão existentes e malha rodoviária existente. ....	50
Figura 16 – Possíveis locais de implementar UTE a casca de Arroz. ....	52
Figura 17– Custos de implementação de uma UTE.....	56
Figura 18 – Tabela de viabilidade econômica de usinas a casca de arroz. ....	57
Figura 19 – Tabela de análise de viabilidade para usinas a casca de arroz. ....	57
Figura 20 – Primeiro passo (SAM) .....	58
Figura 21 – Segundo passo (SAM) .....	59
Figura 22 – Composição química da Casca de Arroz (Rice Husk).....	59
Figura 23 – Terceiro passo (SAM) .....	60
 Fluxograma 1 – Metodologia Geral .....	 22
Fluxograma 2 – Passos Metodológicos. ....	24

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Passos metodológicos.....	23
Quadro 2 – Critérios de análise.....	44
Quadro 3 – Dados ambientais.....	45
Quadro 4 – Dados econômicos.....	46
Quadro 5 – Custos do Empreendimento. ....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Situação dos empreendimentos. ....	27
Tabela 2 – Quantificação das UTE's de estudo .....	33
Tabela 3 – Geração de Casca de Arroz nos últimos 10 anos. ....	38
Tabela 4 – Potencial energético de cada biomassa. ....	40
Tabela 5 – Faixas de quantidade de casca de arroz no Brasil. ....	49
Tabela 6 – Cenários simulados na análise de viabilidade econômica.....	60
Tabela 7 – Diferença entre a quantidade de biomassa calculada. ....	62
Tabela 8 – Resultados do Payback e VPL do empreendimento (SAM). ....	62
Tabela 9 – Resultados do Payback, VPL e TIR do empreendimento (Cenário Pessimista).....	64
Tabela 10 – Resultados do Payback, VPL e TIR do empreendimento (Cenário Otimista).....	64

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
BIG	Banco de Informações de Geração
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCI	Poder Calorífico Inferior
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
SAM	System Advisor Model
SIN	Sistema Interligado Nacional
UF	Unidade Federal
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa de Mínima de Atratividade
VPL	Valor Líquido Presente

## LISTA DE SÍMBOLOS

GWh	Unidade de energia - Giga Watt hora
TWh	Unidade de energia - Tera Watt hora
Ton	Unidade de massa – Tonelada
kcal	Unidade de energia – Quilocaloria
kg	Unidade de massa – Quilograma
ha	Unidade de área – Hectare

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS E FLUXOGRAMAS .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>13</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS .....</b>	<b>14</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.3 OBJETIVO GERAL.....	20
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
1.3 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO .....	21
<b>2 METODOLOGIA GERAL .....</b>	<b>22</b>
2.1 PASSOS METODOLÓGICOS.....	23
<b>CAPÍTULO 1. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA: BIOMASSA E DEMANDA DE ENERGIA .....</b>	<b>25</b>
3.1 NOTAS INTRODUTÓRIAS.....	25
3.2 NOTAS METODOLÓGICAS.....	26
3.3 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA .....	26
<b>3.3.1 CENÁRIO BRASILEIRO .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.2 BIOMASSA.....</b>	<b>28</b>
<i>Licor negro.....</i>	<i>30</i>
<i>Bagaço da cana de açúcar.....</i>	<i>31</i>
<i>Casca de arroz.....</i>	<i>32</i>
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	32
3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
<b>CAPÍTULO 2. POTENCIAL ENERGÉTICO.....</b>	<b>35</b>
4.1 NOTAS INTRODUTÓRIAS.....	35
4.2 NOTAS METODOLÓGICAS.....	36
4.3 A CONCENTRAÇÃO DE BIOMASSA DESCARTADA NO BRASIL.....	37
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DE TERMELÉTRICA A BIOMASSA .....</b>	<b>41</b>
5.1 NOTAS INTRODUTÓRIAS.....	41
5.1.1 MÉTODOS CIENTÍFICOS.....	42
<b>5.1.2 PERSPECTIVAS DO SETOR ARROZEIRO.....</b>	<b>43</b>
5.2 NOTAS METODOLÓGICAS.....	44
5.3 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS.....	45
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
<b>CAPÍTULO 4. VIABILIDADE ECONÔMICA DE TERMELÉTRICA A BIOMASSA .....</b>	<b>54</b>
6.1 NOTAS INTRODUTÓRIAS.....	54
6.2 NOTAS METODOLÓGICAS.....	55
6.3 DESCRIÇÃO DOS MODELOS ECONÔMICOS.....	56

6.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	61
<b>6.4.1 METODOLOGIA SAM .....</b>	<b>61</b>
<b>6.4.2 METODOLOGIA 2 .....</b>	<b>63</b>
6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
<b>7 CONCLUSÃO FINAL .....</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>69</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>74</b>
APÊNDICE A – SIMULAÇÃO DE VIABILIDADE - SAM CENÁRIO 1. (VALORES APROXIMADOS EM REAIS).....	74
APÊNDICE B – SIMULAÇÃO DE VIABILIDADE - SAM CENÁRIO 2. (VALORES APROXIMADOS EM REAIS).....	74
APÊNDICE C – SIMULAÇÃO DE VIABILIDADE - SAM CENÁRIO 3. (VALORES APROXIMADOS EM REAIS).....	75
APÊNDICE D – SIMULAÇÃO DE VIABILIDADE - SAM CENÁRIO 4. (VALORES APROXIMADOS EM REAIS).....	75
APÊNDICE E – SIMULAÇÃO DE VIABILIDADE CENÁRIO 1.....	76
APÊNDICE F – SIMULAÇÃO DE VIABILIDADE CENÁRIO 2.....	76
APÊNDICE G – SIMULAÇÃO DE VIABILIDADE CENÁRIO 3 .....	77
APÊNDICE H – SIMULAÇÃO DE VIABILIDADE CENÁRIO 4 .....	77
APÊNDICE I – SIMULAÇÃO DE VIABILIDADE CENÁRIO 1 .....	78
APÊNDICE J – SIMULAÇÃO DE VIABILIDADE CENÁRIO 2 .....	78
APÊNDICE K – SIMULAÇÃO DE VIABILIDADE CENÁRIO 3.....	79
APÊNDICE L – SIMULAÇÃO DE VIABILIDADE CENÁRIO 4.....	79
APÊNDICE M – CARTOGRAMA DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO E USINAS TERMELÉTRICAS NO BRASIL.....	80
APÊNDICE N – CARTOGRAMA DAS LINHAS RODOVIÁRIAS E USINAS TERMELÉTRICAS NO BRASIL .....	81
APÊNDICE O – CARTOGRAMA DAS USINAS ESTRATÉGICAS A CASCA DE ARROZ NO BRASIL.....	82



## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação em realizar o descarte correto dos resíduos gerados em diversos processos produtivos estão em constante crescimento. Para isso, estabeleceu um marco regulatório desse setor com a aprovação da Lei nº 12.305/10 e instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Dispõem instrumentos importantes para o manejo dos resíduos sólidos, permite o avanço para o país e ao mesmo tempo combate os problemas ambientais, sociais e econômicos associados ao descarte incorreto. (MMA, 2010)

As Políticas Nacionais de Resíduos Sólidos e de Saneamento Básico são determinantes para o adequado tratamento do resíduo. Vale ressaltar que nos casos onde prevê viabilidade técnica, econômica e ambiental no aproveitamento energético, deve-se fazê-lo. (EPE, 2018)

A PNRS presume reduzir e prevenir a geração de resíduos, de forma prática, propõe um conjunto de instrumentos que tendem a proporcionar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos, com algum valor econômico agregado, também promove a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos, no caso são os que não podem ser reciclados/reutilizados (MMA, 2010).

Segundo o Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, os aspectos mais importantes na PNRS são:

- Acordo Setorial, que, em suma, firma o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, a responsabilidade em avaliar e acompanhar o ciclo de vida do produto;
- Minimiza o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, reduzindo os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos;
- O Ciclo de Vida do Produto, que é uma série de etapas que engloba toda a vida do produto, desde a fase do desenvolvimento e do consumo até a disposição final;
- Logística Reversa, um instrumento econômico e social que se caracteriza

por ser um conjunto de ações e procedimentos com a finalidade de viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, pode ser usado para reaproveitamento ou para destinação correta;

- A Coleta seletiva de resíduos sólidos;
- Sistema de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos - SINIR. O sistema objetiva o armazenamento, tratamento e fornecimento de informações que auxiliam os processos de uma organização. (MMA, 2010)

O aproveitamento de resíduos é uma das formas de prevenir e/ou reduzir os impactos ambientais. Dessa forma, reduz o descarte de resíduos inadequados e, principalmente, faz com que um rejeito que seria descartado produza energia de diferentes formas, impacte socialmente e gere empregos e até mesmo benefícios econômicos para os empreendimentos. Logo, se faz necessário encontrar formas de aproveitamento residuais e para isso pode ser criada metodologias para tais finalidades. (MMA, 2010)

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Com o uso das energias renováveis é possível gerar bioenergia, essa energia elétrica sustentável reduz emissões de gases poluentes e diversifica a matriz energética. Um caso a ser citado são as biomassas, que representam 8,83% da matriz brasileira. (ANEEL/Banco de Informações de Geração, 2018)

Os estudos relacionados a geração de energia por biomassa apresentam perspectivas de crescimento e a EPE, 2018, elenca 5 fatores que são primordiais para corroborar no desenvolvimento sólido dessa fonte renovável no país. Entre eles estão:

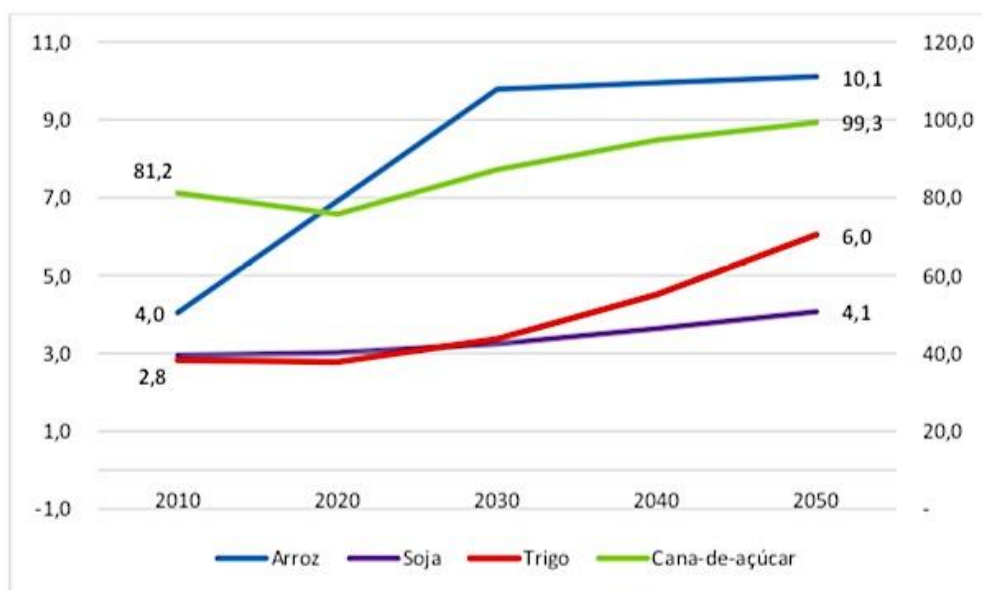
1. A posição geográfica e as condições climáticas favoráveis do Brasil;
2. O elevado patamar de desenvolvimento do mercado de produção e consumo do país;
3. As pesquisas e a evolução das melhorias da produção e o aumento de produtividade da biomassa;
4. A indústria de serviços para projetos de bioenergia;

5. As políticas nacionais que tornam o tratamento e a destinação adequada de resíduos obrigatório.

Nessa linha, mostra-se importante a apresentação das projeções de crescimento de diferentes âmbitos potencialmente energéticos. Para o cenário dos resíduos agrícolas, a Figura 1 ilustra a quantidade de tonelada de diferentes produções de grãos por hectare até 2050.

Pode-se inferir que todos os produtos agrícolas listados apresentam uma tendência de alta até 2050, porém, o arroz mostra o maior aumento percentual, com cerca de 150% de crescimento de produção.

Figura 1 – Perspectiva do setor agrícola em 2050 (ton/ha)



Fonte: EPE, 2018.

O estudo prevê que em 2050 a produção da tonelada de arroz seja de aproximadamente 20 milhões de toneladas. Entretanto, a área utilizada para agricultura seria aproximadamente 30% menor quando comparado com 2010. Com isso, infere-se que terá um aumento da eficiência da colheita desse setor.

Como é previsto um aumento da utilização de biomassa como fonte de energia elétrica e tem-se apresentado bons resultados diante as pesquisas, se faz necessário estudos que possam garantir as implementações desses

empreendimentos e definir estrategicamente as melhores tomadas de decisões em cada fase do projeto.

Por esses motivos, esse trabalho faz uma proposta metodológica capaz de validar projetos de geração de energia a partir do resíduo processo produtivo do arroz, apresentando as viabilidades técnicas e econômicas. Servirá como modelo para qualquer resíduo agrícola, florestal e/ou outros substratos que possam ser reaproveitados. A aplicabilidade do trabalho é dividida em passos metodológicos, pois facilita a visualização na tomada de decisão.

## 1.2 OBJETO DE PESQUISA

Metodologia para tomadas de decisões, técnicas e econômicas, de implementação de mini Usinas Termelétricas a biomassa.

## 1.3 OBJETIVO GERAL

Elaborar a metodologia para implementar mini empreendimentos termelétricos que realizam o aproveitamento do resíduo gerado no setor arrozeiro (casca de arroz) como combustível no Brasil.

## 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específico são dispostos:

- I. Levantar dados de geração e excedentes não aproveitados de diferentes resíduos no país;
- II. Avaliar o potencial energético dos resíduos excedentes das biomassas estudadas;
- III. Mapear, com o *software* Qgis, as linhas de transmissão de energia existentes, as linhas viárias existentes e o excedente de casca de arroz no Brasil;
- IV. Criar critérios ambientais, sociais, econômicos, tecnológicos e espaciais para apoio na tomada de decisão (implementação das usinas estrategicamente);
- V. Analisar a viabilidade financeira de implementar UTEs a biomassa.

### 1.3 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi dividido em quatro capítulos, os mesmos estão editados no formato de artigo científico, todos são compostos por Notas Introdutórias, Notas Metodológicas, Análise dos Resultados, Referencial Bibliográfico e Considerações Finais.

O Capítulo 1 trata da contextualização dos principais termos usados no trabalho, a biomassa e o cenário energético brasileiro. É apresentado as tecnologias de conversão de energia da biomassa e sobre suas principais vantagens ambientais, econômicas e sociais. A análise do cenário energético mapeia a produção de energia elétrica a partir dos resíduos gerados ao longo de diferentes processos produtivos, sendo eles, os setores sucroalcooleiro, madeireiro e arrozeiro, de forma a evidenciar sua principais características e consolidar o cenário diante do tema proposto.

É apresentado, no Capítulo 2, um estudo do potencial energético do Licor Negro, Bagaço de Cana e Casca de Arroz, afim de aferir a disponibilidade dessas biomassas no país e o potencial contido nelas. Realizou-se também a comparação do potencial de energia com a demanda energética das regiões do Brasil.

O Capítulo 3 dispõe a metodologia criada para implementar Usinas Térmelétricas a partir da Casca do Arroz em todo o território brasileiro com o uso do software QGIS para tomada decisão.

Por fim, o Capítulo 4 contém os dados recorrentes aos custos de implementação, operação e manutenção que contemplam um projeto de uma UTE a biomassa. A análise econômica simula, com o auxílio do software SAM, diferentes cenários de projeto e apresenta os parâmetros econômicos do empreendimento, como o payback, a TIR e o VPL.

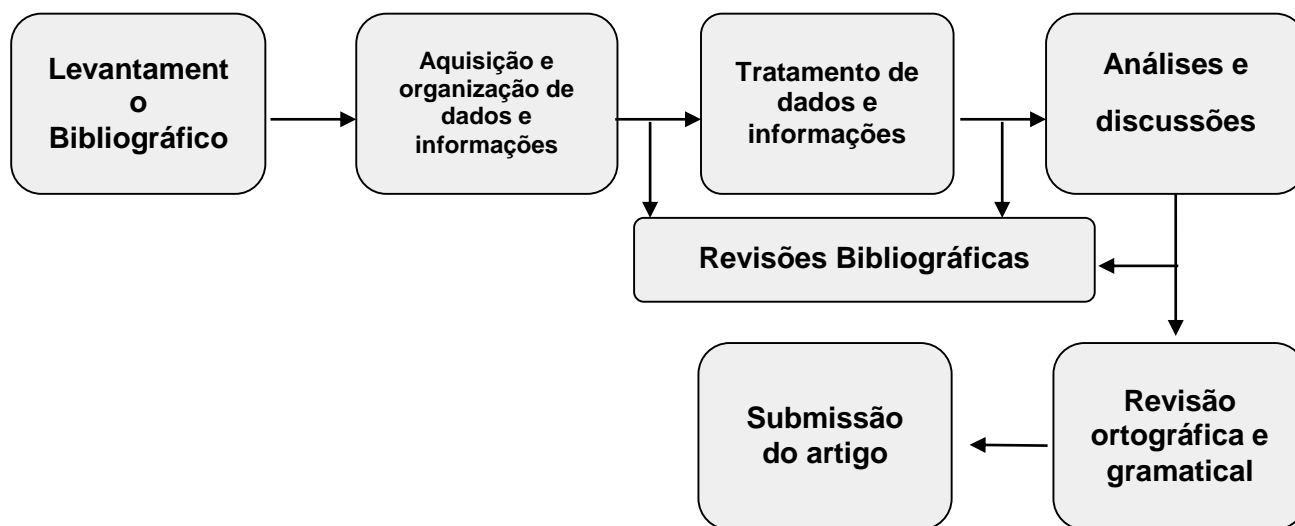
## 2 METODOLOGIA GERAL

A metodologia adotada para o trabalho consiste em dividi-lo em 4 capítulos, os dois primeiros artigos foram publicados no Encontro de Ciência e Tecnologia da Faculdade do Gama – UnB e os dois últimos serão submetidos posteriormente.

No geral, teve como base uma pesquisa bibliográfica acerca de conceitos relacionados a biomassa, fonte de energia renovável (Usinas Termelétricas a biomassa), conceitos econômicos, caracterização do cenário atual brasileiro de geração de energia, levantamento de dados estruturais acerca da geração de resíduos produzidos em alguns setores do país e levantamento de dados sobre custos de projetos de UTE. Utilizou-se o Sistema de Informação Geográfica - SIG para mapeamentos das áreas de interesse.

O fluxograma 1 exemplifica a metodologia usada em todos os capítulos.

Fluxograma 1 - Metodologia Geral

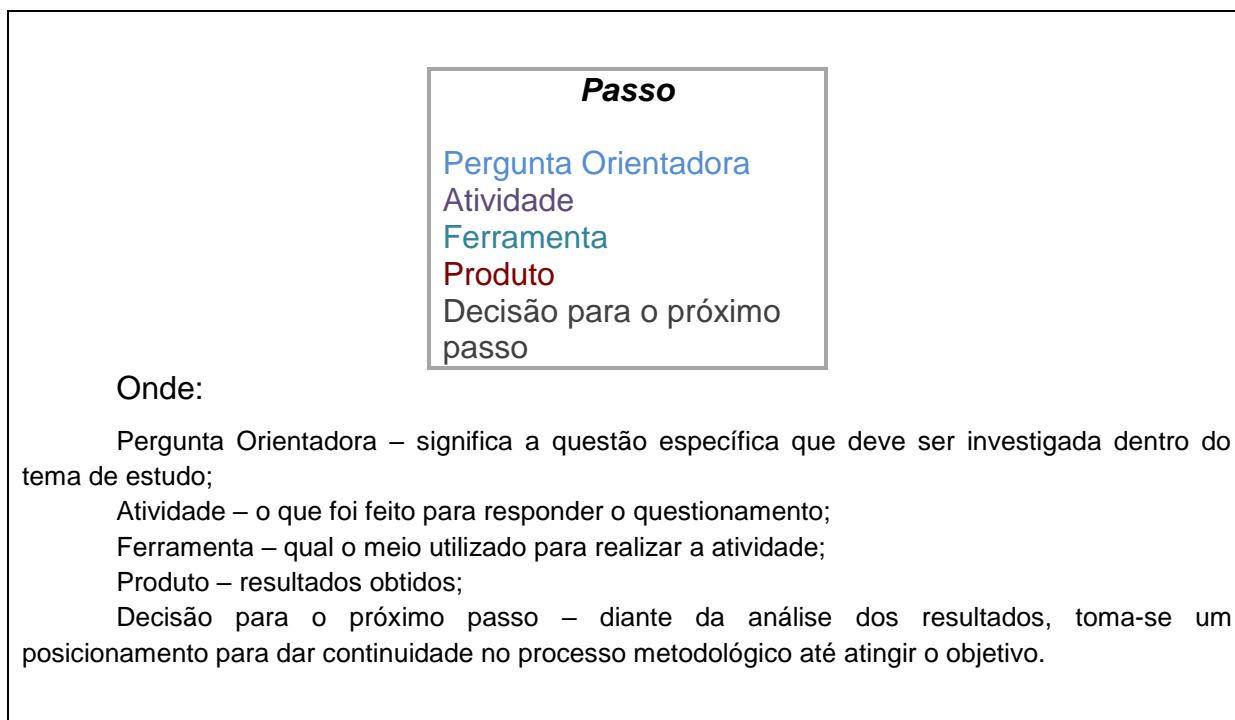


Fonte: Autoria Própria, 2018.

## 2.1 PASSOS METODOLÓGICOS

Para criar a metodologia que abrangesse dimensões ambientais, econômicas, tecnológicas e espaciais, foram feitos passos metodológicos. Cada passo foi feito de acordo com o modelo disposto no Quadro 1.

Quadro 1– Passos metodológicos.



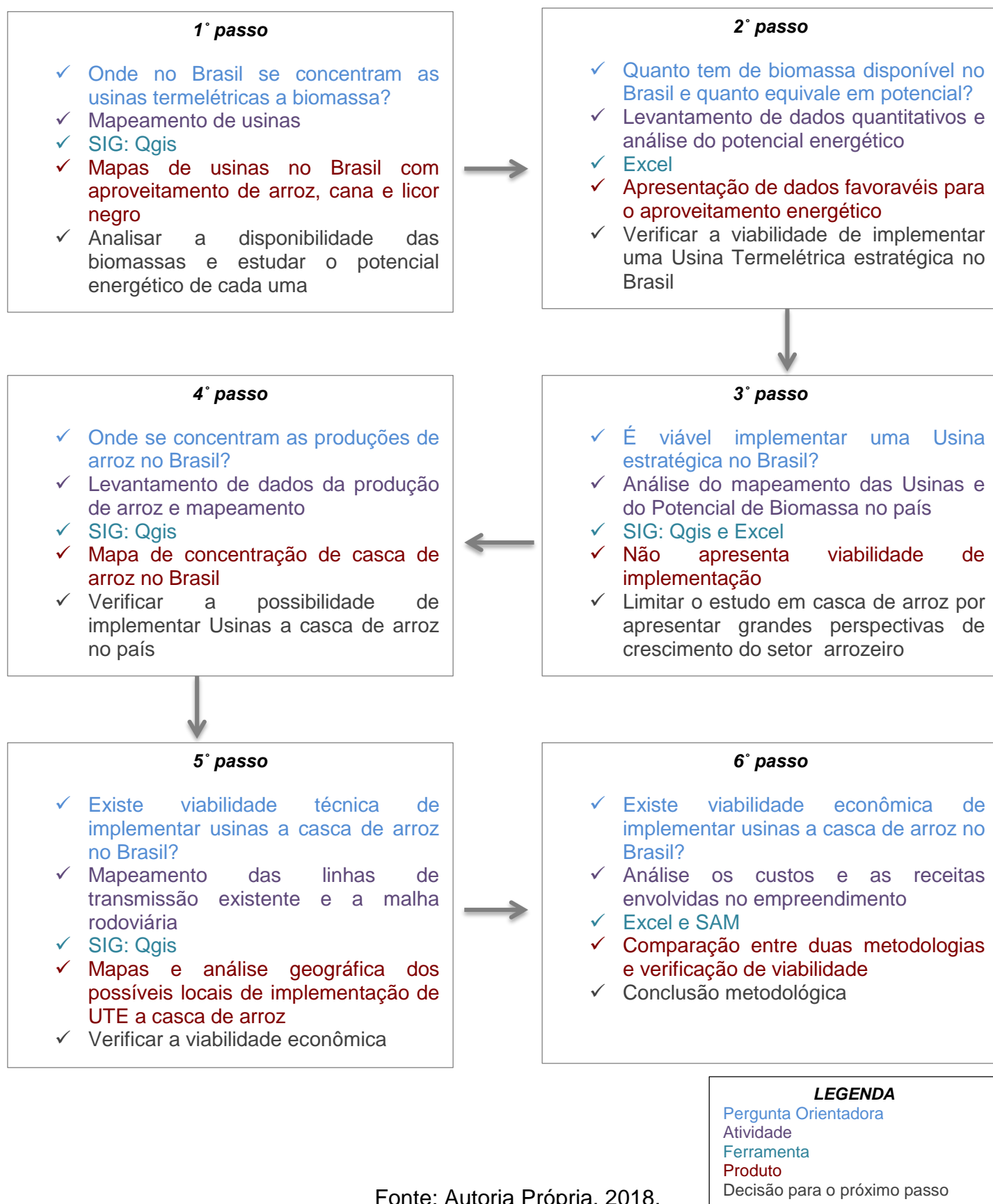
Fonte: Autoria Própria

Os quadros foram divididos por passos e cada coloração, assim como feito no Quadro 1, terá seu significado correspondente.

A Metodologia elaborada com intuito de viabilizar projetos de usinas termelétricas a casca de arroz no Brasil, de forma técnica e econômica, e elaborada com tomadas de decisões é fundamentada no método Hipotético – Dedutivo. Para cada nova hipótese proposta se fez necessário uma análise dos resultados obtidos anteriormente e a previsão de qual seria o melhor caminho para atingir o objetivo final, bem como afirma o método de tentativa e erro.

Os passos metodológicos, efetuados ao longo do trabalho são apresentados sequencialmente no Fluxograma 2.

## Fluxograma 2 – Passos Metodológicos.



Fonte: Autoria Própria, 2018.



## **CAPÍTULO 1. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA: BIOMASSA E DEMANDA DE ENERGIA**

### **3.1 NOTAS INTRODUTÓRIAS**

A matriz energética brasileira tem predominância de usinas hidrelétricas, elas são responsáveis pela maior parte da energia produzida no Brasil, representam cerca 66% de participação (EPE, 2017). Outra fonte renovável que vem para competir com os combustíveis fósseis, é a Biomassa. Ela é usada como insumo para a geração de eletricidade em usinas termelétricas e plantas de biogás. O seu uso promove a descentralização da geração, já que realiza o aproveitamento de recursos naturais naturalmente reabastecidos e reduz a dependência de fontes não renováveis, e em paralelo reduz as emissões de gases com potencial poluidor (MULLER, 2005).

Como exemplos de biomassa, temos licor negro, advindo do segmento de papel e celulose, setor esse que no Brasil é bastante consolidado. Entretanto, quando ocorre o crescimento desse setor, a taxa dos resíduos associados em seu processo produtivo também aumenta. O licor advindo da combustão dos cavacos da madeira, é um resíduo potencialmente nocivo ao meio ambiente e é proibido por lei o descarte de forma inadequada (SILVA, 2011).

Outro resíduo que tem dificuldades de descarte, é do setor Arrozeiro, sendo ele a casca de arroz. Ela possui baixa densidade e alto porcentual de volume, cerca 22% do grão de arroz é somente casca, e essa característica dificulta e aumenta o custo de seu transporte, atingindo negativamente a destinação adequada do resíduo (CARDOSO, 2012).

Para finalizar o escopo do trabalho, outro resíduo que também será estudado é o bagaço de cana, sendo ele advindo do setor Sucroalcooleiro. Dentre as outras biomassas, o bagaço é o que se apresenta mais difundido e com o maior número de Usinas Termelétricas instaladas (BIG, 2018).

O objetivo do presente capítulo é apresentar o atual cenário energético brasileiro e apresentar os mapeamentos das Usinas Termelétricas a Biomassa, dentre elas foram escolhidas três para análise mais detalhada. Os mapeamentos

realizados nesse estudo foram feitos com a finalidade de analisar a localidade das UTE's a biomassa em relação as linhas de transmissão e rodoviárias existentes.

### 3.2 NOTAS METODOLÓGICAS

Quanto a metodologia, foi feito uma revisão literária acerca dos conceitos de biomassa, levantando suas tecnologias de conversão e apresentando as biomassas de estudo, sendo elas o Licor Negro, o Bagaço de Cana e a Casca de arroz. Além disso, fez-se um estudo da demanda energética no Brasil e utilizou-se o Excel e Qgis para elaborar gráficos, tabelas e cartogramas.

### 3.3 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

Nesse tópico será mostrado o atual cenário brasileiro, apresentando-o de forma clara e objetiva e com o foco em geração de energia a partir de resíduos, após isso, é feita a contextualização das biomassas de estudo.

#### 3.3.1 CENÁRIO BRASILEIRO

O sistema energético brasileiro é composto por um sistema principal, Sistema Interligado Nacional (SIN), que é um agrupamento de usinas, linhas de transmissão e ativos de distribuição para geração e transmissão de energia elétrica. O responsável em coordenar e controlar a operação do SIN, é o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Uma das principais vantagens da integração entre a operação e coordenação no SIN é a possibilidade de trocar energia elétrica entre todas as regiões do Brasil, isso se torna um fator importante devido a extensão do país e as diferentes localidades de geração de energia (ANEEL, 2008).

Com intuito de analisar as fontes de energia que compõem o cenário brasileiro tem-se a Figura 2, que mostra quantitativamente esse valor.

Figura 2 – Tabela da geração de energia por fonte no Brasil (GWh).

	2012	2013	2014	2015	2016	$\Delta\%$ (2016/2015)	Part. % (2016)
<b>Total</b>	<b>552.498</b>	<b>570.835</b>	<b>590.542</b>	<b>581.228</b>	<b>578.898</b>	<b>-0,4</b>	<b>100</b>
Hidráulica (i)	415.342	390.992	373.439	359.743	380.911	5,9	65,8
Gás Natural	46.760	69.003	81.073	79.490	56.485	-28,9	9,8
Derivados de Petróleo (ii)	16.214	22.090	31.529	25.657	12.103	-52,8	2,1
Carvão	8.422	14.801	18.385	18.856	17.001	-9,8	2,9
Nuclear	16.038	15.450	15.378	14.734	15.864	7,7	2,7
Biomassa (iii)	34.662	39.679	44.987	47.394	49.236	3,9	8,5
Eólica	5.050	6.578	12.210	21.626	33.489	54,9	5,8
Outras (iv)	10.010	12.241	13.540	13.728	13.809	0,6	2,4

Fonte: EPE, 2017.

Destaca-se que no ano de 2016 teve um total de 578.898 GWh de energia elétrica produzida por diversas fontes e nota-se que as Usinas Hidrelétricas ainda detêm a maior parcela na matriz energética, com 65,8% de participação (EPE,2017).

Outra observação é que 8,5% da matriz energética é representado pela energia da Biomassa e desde 2012 essa participação vem crescendo, com um aumento de 3,9% no ano de 2016 em relação ao ano anterior. Os dados do Banco de Informação de Geração revelam a atual situação das Usinas Termelétricas no Brasil, sendo à Biomassa ou não, eles são resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Situação dos empreendimentos.

Número de empreendimentos	Situação	Potência Associada (KW)
115	Construção não iniciada	3.443.867
27	Construção	3.721.262
3011	Operação	43.420.548

Fonte: BIG, acessado em 30 de maio de 2018.

Dos 3011 empreendimentos de UTE em operação, 557 utilizam como combustível a biomassa e isso representa aproximadamente 19% das UTE's existentes, essa análise foi feita pela Tabela 1 e a Figura 3.

Figura 3 – Tabela do potencial instalado por fonte no Brasil (kW).

Fontes utilizadas no Brasil - Fase: Operação				
Origem	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
<b>Fóssil</b>	2452	28.433.989	26.809.062	17,02
<b>Biomassa</b>	557	14.754.682	14.621.486	8,83
<b>Nuclear</b>	2	1.990.000	1.990.000	1,19
<b>Hídrica</b>	1324	107.611.982	101.481.371	64,43
<b>Eólica</b>	527	12.916.439	12.893.643	7,73
<b>Solar</b>	2210	1.306.483	1.306.483	0,78
<b>Undi-Elétrica</b>	1	50	50	0
<b>Total</b>	7073	167.013.624	159.102.095	100

Fonte: BIG, acessado em 30 de maio de 2018

Além disso é possível visualizar vantagens envolvidas em implementar uma UTE a Biomassa, uma das principais é a redução significativa de Gases do Efeito Estufa, as liberações dos gases são praticamente nulas quando comparados com as UTE's movidas a fontes não renováveis (MME, 2008). Outra vantagem observada é o aproveitamento energético, já que aproveita um resíduo para geração de energia.

Em relação a oportunidades dentro do atual cenário brasileiro para esses empreendimentos, tem como principal o incentivo relacionado ao Decreto n° 5.163 de julho de 2004. O Decreto afirma que “Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do caput.”. Então empreendimentos a Biomassa não necessitam de eficiência energética de 75% para conectar-se ao SIN diretamente.

### 3.3.2 BIOMASSA

Das diversas formas de geração de energia, a Biomassa é uma das fontes renováveis que vem ganhando seu espaço na matriz energética Brasileira. Neste tópico será abordado o seu conceito e a suas tecnologias de conversão de energia.

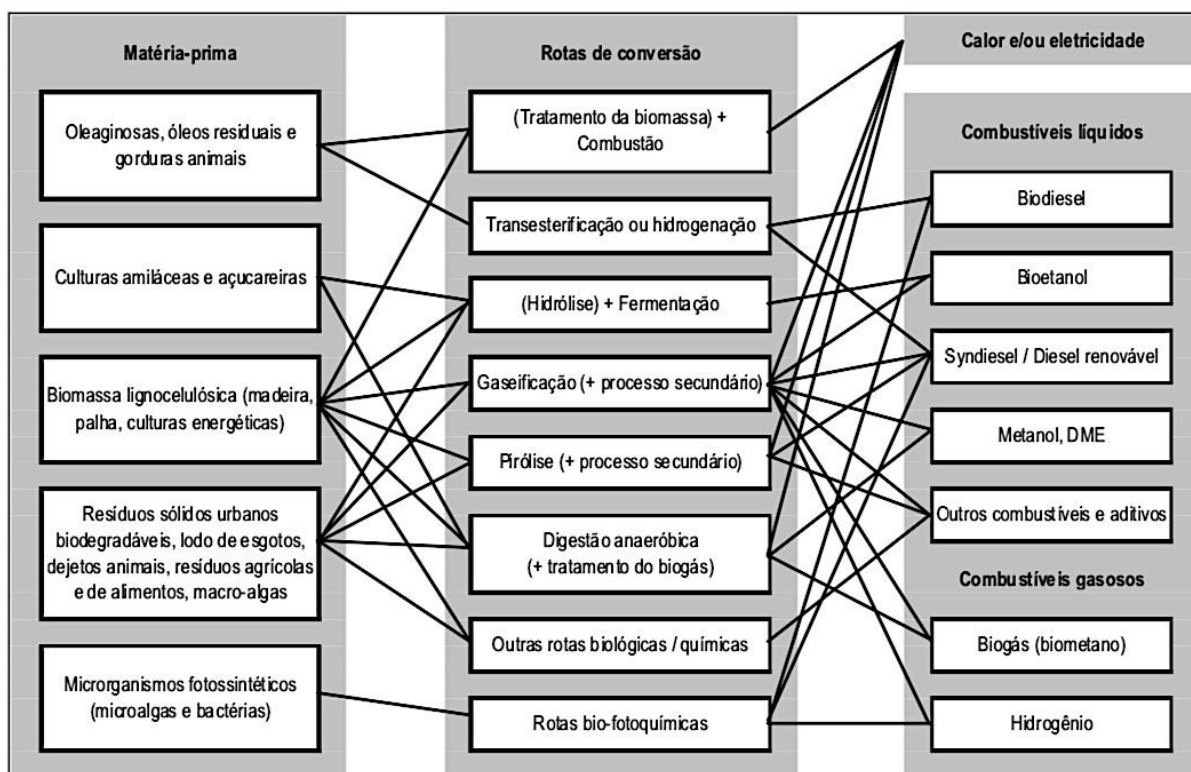
Por definição, Biomassa é qualquer matéria orgânica que tem a capacidade de transformação em energia mecânica, térmica ou elétrica (ANEEL, 2008). Pode ter sua origem de resíduos da indústria madeireira, produtos e resíduos agrícolas, resíduos florestais, excrementos animais, carvão vegetal, álcool, óleos animais e óleos vegetais (PACHECO, 2006).

A eficiência energética da Biomassa é inferior quando comparado com outras fontes de energia, mas o que torna seu processo vantajoso é que seu aproveitamento pode ser feito diretamente por meio da combustão. Por conta disso, as tecnologias que são desenvolvidas para o seu aproveitamento energético, têm o foco em maximizar a eficiência e reduzir impactos socioambientais (MUNIZ,2002).

Outra tecnologia que está sendo utilizada em sistemas que utilizam a biomassa como fonte de energia, é a co-geração (MUNIZ,2002). A co-geração consiste na combinação da energia térmica e elétrica produzida e posteriormente aproveitada, visto que o calor gerado é inserido novamente ao sistema, de maneira a otimizar o ciclo de geração.

A Figura 4 apresenta como entrada as matérias-primas, em seguida as tecnologias de conversão para cada uma delas e as saídas conforme as ocorrências das rotas. Para que o processo tenha como saída geração de energia elétrica a partir de biomassa, as rotas observadas são: Tratamento da Biomassa + Combustão, Gaseificação, Pirólise e Digestão anaeróbica.

Figura 4 - Processos de conversão relacionados a diferentes Biomassas.



Fonte: Muniz 2012.

Com relação ao escopo do trabalho, serão descritas as principais características das seguintes biomassas.

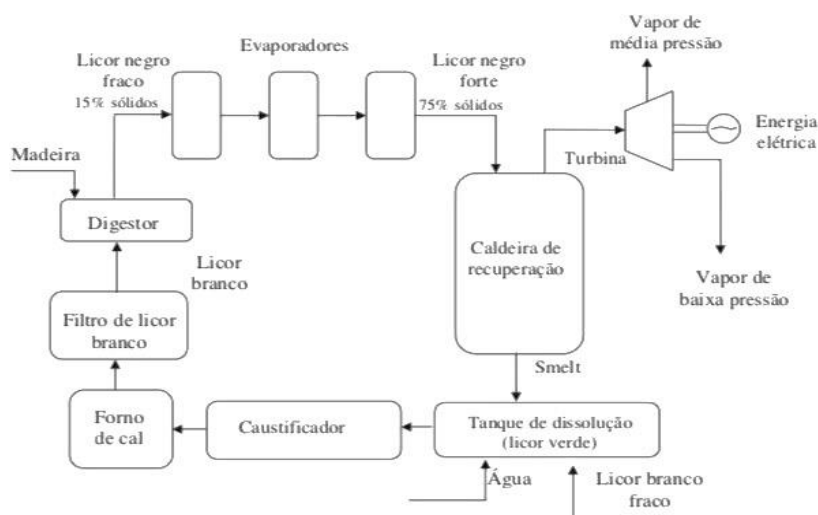
### Licor negro

Um dos resíduos gerados na indústria de celulose e papel é o Licor Negro. Ele é originado durante o processo de cozimento dos cavacos de madeira. O licor é assim chamado por conta da sua aparência, sendo constituída parte por uma solução aquosa e em média 15% de massa de sólidos. Contém a matéria orgânica advinda da digestão da madeira, sais inorgânicos e outros compostos inorgânicos e sua composição química é diferente conforme a espécie da madeira usada no processo e também das condições de polpação (Santos, 2007).

O Licor é considerado um resíduo poluente, então, uma das formas de realizar o seu reaproveitamento e evitar um descarte incorreto é fazer com que ele seja produto para gerar energia. No processo de obtenção de energia do licor negro primeiro ocorre a gaseificação do licor por meio do gaseificador concorrente e em segundo a limpeza do gás de síntese (gás liberado durante o processo de gaseificação), já que um dos subprodutos é o alcatrão e pode danificar as turbinas utilizadas para gerar energia. Após a limpeza, ocorre a geração de energia por meio das turbinas (Santos, 2007).

A Figura 5 apresenta o esquema de geração de energia elétrica a partir do Licor Negro como biomassa.

Figura 5 – Fluxograma da geração de Energia a partir do Licor Negro.

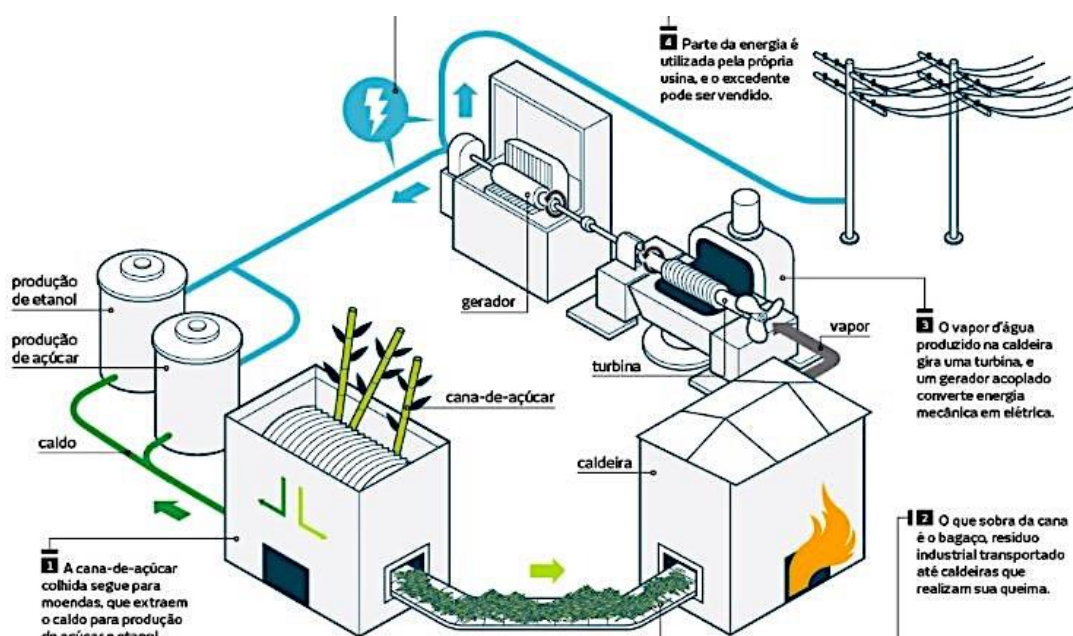


Fonte: Santos, 2007.

### Bagaço da cana de açúcar

Desde muitos anos, a cana de açúcar é cultivada no Brasil para produtos agrícolas, sua produção atende o interno e externamente o açúcar e o álcool. Como resíduo do processo produtivo é gerado o bagaço, o vinhoto ou vinhaça, a torta de filtro e a levedura. O bagaço da cana, resíduo que irá ser abordado ao longo do trabalho, é gerado pela moagem da cana de açúcar. A Figura 6 exemplifica o processo de obtenção e geração de energia do bagaço.

Figura 6 - Geração de energia a partir do Bagaço de Cana.



Fonte: BERNARDO, acesso em 21 de junho de 2018.

Assim como o licor negro, o bagaço é levado para caldeiras e após gerar o vapor d'água, gira uma turbina e um gerador acoplado e converte energia mecânica em elétrica. O processo de obtenção da biomassa está representado no passo 1 e segue até o passo 4, processo de geração de energia. O outro caminho exemplifica a produção do etanol e do açúcar.

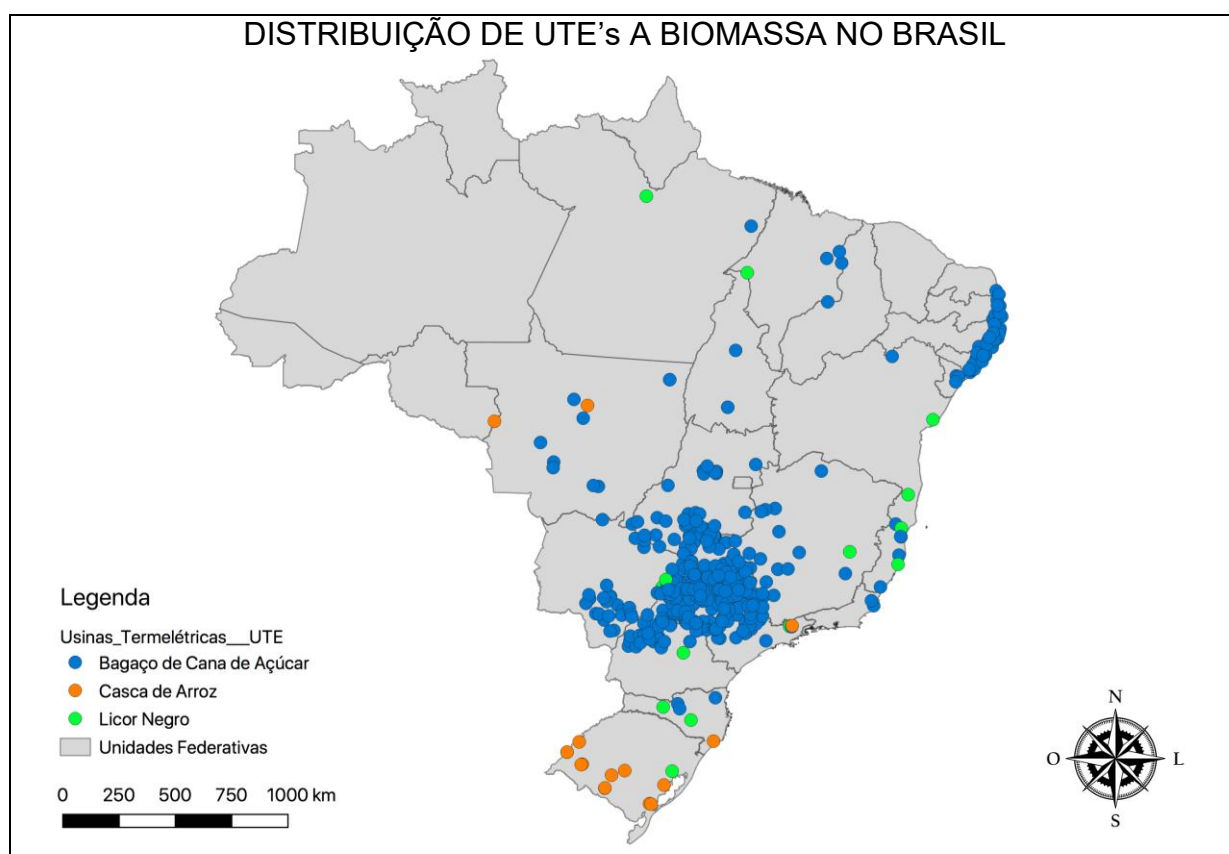
## Casca de arroz

O Brasil é um dos principais produtores de arroz, tem como resíduo do seu processo produtivo a sua casca, o pó, a cinza, a quirela, o farelo, a palha e impurezas. Entre eles, os que se destacam são a casca e a palha que podem ser utilizados na geração de energia elétrica. A casca de arroz é equivalente a 22% do peso total do grão e cerca de 15% das cascas de arroz são utilizadas na fase de secagem do próprio processo, sendo que os outros 85%, assim como os resíduos de palha de arroz, não possuem outro tipo de reaproveitamento direto (CARDOSO, 2012).

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como o foco deste trabalho são as UTE à Biomassas, será mostrado mais especificamente a localidade em que as usinas se concentram e que geram energia elétrica a partir do Licor Negro, do Bagaço da Cana e da Casca de Arroz. A Figura 7 mostra a concentração das UTE's pelo Brasil.

Figura 7 - Cartograma de concentração de UTE's as Biomassas de estudo no Brasil.



Fonte: Autoria Própria, 2018., 2018.



Com o mapeamento das usinas existentes, pode-se observar as áreas de concentração de cada uma delas. Além disso, a Tabela 2 quantifica e apresenta a potência instalada das mesmas. Consiste em mostrar a quantidade de usinas brasileiras das biomassas de estudos e, pelos dados do Banco de Informação de Geração, a potência gerada.

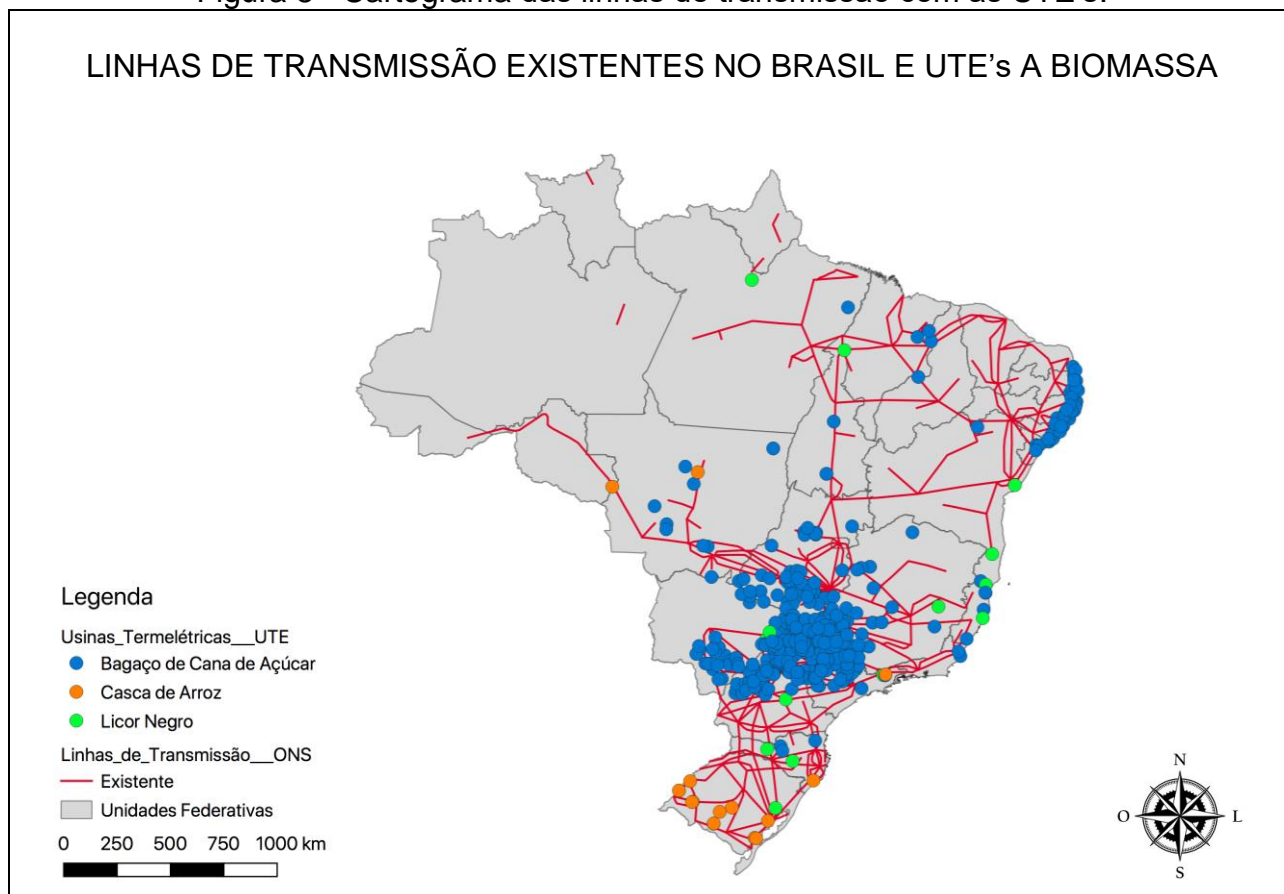
Tabela 2 - Quantificação das UTE's de estudo

Biomassa	Quantidade de UTE	Potência (kW)
Bagaço de Cana	405	11.239.335
Licor Negro	18	2.542.616
Casca de Arroz	12	45.333

Fonte: Dados BIG/ANEEL (2018).

A Figura 8 apresenta o mapeamento do Sistema Integrado Nacional com as UTE's do Licor Negro, Bagaço de Cana e Casca de arroz, utilizou-se somente as linhas existentes como objeto de estudo. Além disso, encontra-se no Apêndice M o cartograma em escala maior.

Figura 8 - Cartograma das linhas de transmissão com as UTE's.

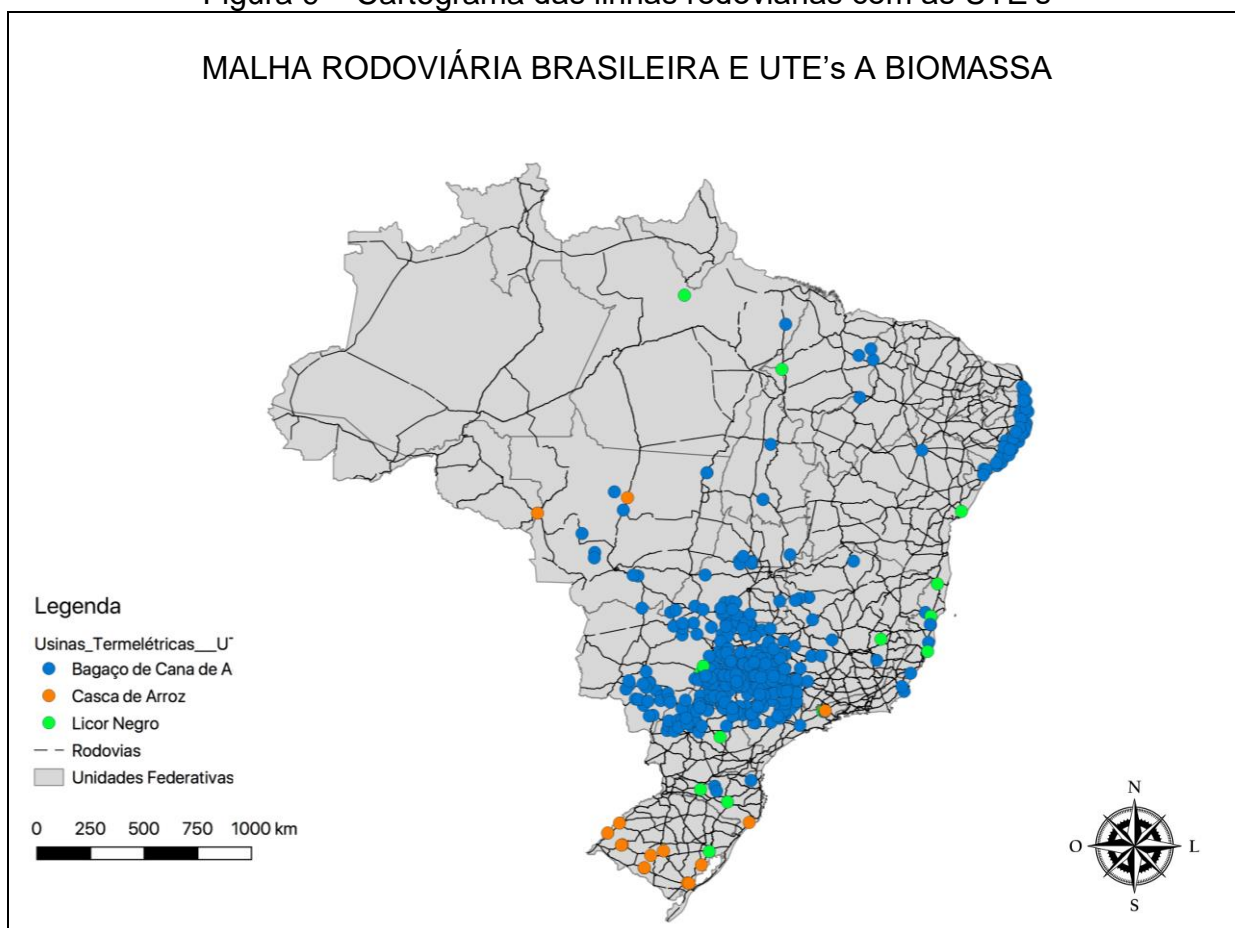


Fonte: Autoria Própria, 2018.

Pode-se observar que o sistema integrado está próximo aos locais de geração de energia, fator importante para interligar a energia produzida e garantir eficiência em sua distribuição. O outro fator de análise, são entre as Usinas e a linha rodoviária brasileira, para saber se existe a viabilidade de acesso entre o excedente do resíduo produzido e as usinas.

Na Figura 9, as linhas cinzas são as rodovias existentes no território brasileiro e mostra que as Usinas que atuam no país têm acesso direto às linhas, comprovando então que se torna viável levar o excedente até as UTE's. Assim como a Figura 8, a Figura 9 também é disposta no Apêndice para melhor visualização.

Figura 9 – Cartograma das linhas rodoviárias com as UTE's



Fonte: Autoria Própria, 2018.

### 3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo feito desde a caracterização do cenário brasileiro, a conceituação da biomassa, a análise das principais vantagens e oportunidade de Usinas Termelétricas a biomassa até os mapeamentos efetuados pelo Qgis, nota-se que é um setor com boas perspectivas, já que é visto a projeção do setor e o incentivo envolvido para a sua implementação.

Diante dos resultados obtidos, a malha rodoviária é altamente extensa e as UTE's foram projetadas de fácil acesso a essas rodovias. Além disso, elas também estão dispostas estrategicamente para que a energia produzida seja interligada ao SIN, e como visto, toda energia produzida por UTE de fonte de biomassa não precisa atingir nenhum fator de eficiência para se conectar diretamente ao sistema, tornando-se um fator importante para os empreendimentos.

Com os mapeamentos feitos, é possível visualizar de forma objetiva e ampla a disposição das UTE's das biomassas estudadas no Brasil. Esse trabalho serve de base para futuros projetos que envolvam implementação de novas usinas em território nacional.

## CAPÍTULO 2. POTENCIAL ENERGÉTICO

### 4.1 NOTAS INTRODUTÓRIAS

A quantidade de energia que algo pode dispor, seja um recurso ou região, é denominada potencial energético. Em relação as principais propriedades que determinam o seu conteúdo energético de um modo geral são: poder calorífico (kJ/kg) e sua composição (POLI, et all, 2013).

O Poder calorífico pode ser definido como a quantidade de energia em forma de calor liberado no processo de combustão completa por uma unidade de massa de um material. A quantidade de calorias liberadas na combustão pode variar de acordo com a forma física e propriedades químicas da biomassa. Significa dizer que é a energia disponível por unidade de massa de combustível após descontar as perdas decorrentes da evaporação da água (ORELLANA, 2015). O Poder Calorífico Inferior (PCI) é calculado a partir do Poder Calorífico Superior (PCS), considerando o teor de umidade presente no combustível (ORELLANA, 2015).

Utilizar a biomassa como fonte de energia repara problemas que são causados pela falta de locais sem eletricidade, proporciona a essas comunidades isoladas e pequenas vilas, desenvolvimento rural e geração de empregos, sendo ambos envolvidos diretamente com as atividades de produção do setor elétrico.

Cada Biomassa tem suas características específicas e isso influencia diretamente na quantidade energética que pode ser extraída dela. Para isso é preciso encontrar as propriedades que são relacionadas a energia, assim, desenvolve uma tecnologia apropriada para obter mais eficiência, sustentabilidade e compatibilidade com as características ecológicas, econômicas e sociais da região (OLIVEIRA E LOBO, 2000).

Diante disso, o presente capítulo tem como objetivo verificar o potencial energético de três biomassas (bagaço da cana de açúcar, licor negro e casca de arroz) para posteriormente realizar estudos de viabilidade de implementação de Usinas Termelétricas movida as tais e os resultados obtidos servirem de embasamento para as tomadas de decisões.

## 4.2 NOTAS METODOLÓGICAS

Para quantificação das biomassas em análise, no caso, o bagaço de cana, licor negro e a casca de arroz foram feitos o levantamento e a análise de dados do Balanço Energético Nacional feito pela EPE e da produção de arroz no Brasil nos últimos 10 anos contidos no IBGE. Com a coleta de dados e o programa Microsoft Excel elaborou-se gráficos e tabelas. Para o cálculo do potencial energético utilizou-se como base a Norma técnica CGEI nº 01/98 de 22 de setembro de 1998. Os fatores de conversão da norma são calculados com base no poder calorífico superior<sup>1</sup> de cada energético em relação ao do petróleo, sendo ele equivalente a 10800 kcal/kg e utiliza-se o fator de 0,29 tep/MWh para a conversão em energia.

---

<sup>1</sup> De acordo com a norma, "os combustíveis que originam H<sub>2</sub>O nos produtos da combustão (proveniente de combustão ou de água de impregnação) têm um poder calorífico superior e um poder calorífico inferior. Como o H<sub>2</sub>O, na maioria das vezes, escapa pela chaminé sob forma de vapor, o poder calorífico inferior é que tem significado prático", assim utilizou-se o PCI no cálculo do potencial energético para maior aproximação.

#### 4.3 A CONCENTRAÇÃO DE BIOMASSA DESCARTADA NO BRASIL

Para a análise do excedente de resíduos gerados pelos setores sucroalcooleiro, madeireiro e arrozeiro, foram levantados os dados dos últimos 10 anos da produção de bagaço de cana, licor negro e arroz no Brasil. Os dados foram dispostos nas Figura 10 e 11 e na Tabela 3.

Pode ser observado na Figura 10 a produção média de Licor Negro nos anos de 2007 a 2016 e o quanto desse resíduo foi transformado em energia elétrica, sendo inferido que cerca de 25% do licor gerado é convertido anualmente.

Figura 10 – Tabela de geração do Licor Negro em  $10^3$  T nos últimos 10 anos.

FLUXO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
PRODUÇÃO	17.090	18.141	19.639	21.136	21.625	21.443	22.681	25.818	27.608	29.499
CONSUMO TOTAL	17.090	18.141	19.639	21.136	21.625	21.443	22.681	25.818	27.608	29.499
TRANSFORMAÇÃO <sup>1</sup>	3.671	3.900	4.501	4.685	5.138	5.238	5.276	6.848	7.223	7.686

Fonte: EPE (BEN), 2017 com modificações.

Essa porcentagem de aproveitamento energético é ainda menor quando visto os números da geração de bagaço de cana, em média apenas 13% da produção do resíduo total é utilizada. A Figura 11 apresenta os valores.

Figura 11 - Tabela de geração de Bagaço de cana  $10^3$  Ton nos últimos 10 anos.

FLUXO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
PRODUÇÃO	134.550	144.443	146.176	160.333	146.943	154.027	163.132	161.174	162.588	168.567
CONSUMO TOTAL	134.550	144.443	146.176	160.333	146.943	154.027	163.132	161.174	162.588	168.567
TRANSFORMAÇÃO <sup>1</sup>	8.967	9.707	12.614	19.161	18.696	20.788	24.712	26.829	27.981	28.686

Fonte: EPE (BEN), 2017 com modificações.

O cálculo efetuado para o arroz foi feito manualmente por meio dos dados disponibilizados pelo IBGE, foram coletados das safras de 2007 até o ano de 2016, mesmo período do estudo feito para as biomassas anteriores, assim as amostras se encontram em concordância temporal para a análise. Após a análise dos dados, pode-se construir a Tabela 3 no Excel.

Tabela 3 - Geração de Casca de Arroz nos últimos 10 anos.

<b>Safra</b>	<b>Produção de Arroz (ton)</b>	<b>Casca de Arroz (ton)</b>	<b>Reaproveitamento (ton)</b>
2007	13.282.755,4	2.922.206,18	438.330,93
2008	14.503.019,8	3.190.664,35	478.599,65
2009	15.149.534,0	3.332.897,48	499.934,62
2010	13.713.350,1	3.016.937,02	452.540,55
2011	15.983.993,8	3.516.478,63	527.471,80
2012	13.787.974,8	3.033.354,45	455.003,17
2013	14.167.193,8	3.116.782,63	467.517,40
2014	14.798.999,3	3.255.779,84	488.366,98
2015	14.936.833,4	3.286.103,34	492.915,50
2016	13.068.566,1	2.875.084,54	431.262,68

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A casca do arroz equivale a 22% do seu peso e que 15% da casca volta para o processo produtivo para a secagem do grão (CARDOSO, 2012). Então, observa-se a quantidade de resíduo que é gerado e não aproveitado desse setor, totaliza cerca de 2,7 milhões de toneladas, isso resulta em um alto potencial energético não aproveitado no Brasil.

#### 4.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

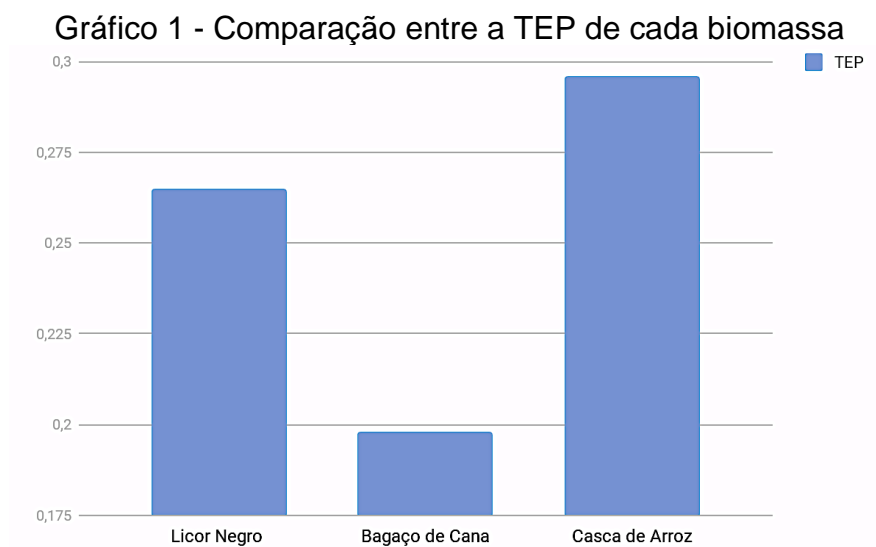
A Casca de arroz, resíduo advindo do processo de obtenção do grão de arroz, tem o poder calorífico inferior de 3200 kcal/kg. Temos para o Licor Negro o PCI de 2860 kcal/kg e para o Bagaço de Cana, 2130 kcal/Kg (CARDOSO, 2012).

Para o cálculo do potencial energético utilizou-se como base a Norma Técnica CGEI nº 01 /98 de 22 de setembro de 1998. O cálculo consiste em igualar a unidade das biomassas em toneladas equivalentes de petróleo por meio do poder calorífico inferior de cada biomassa e converter para kWh usando uma aproximação de quanto seria capaz a geração de energia considerando as perdas associadas durante processo de transformação. Desse modo calcula-se a Tonelada Equivalente de Petróleo (TEP).

$$TEP_{bio} = \frac{PCI_{biomassa}}{PCI_{petróleo}} \quad (1)$$

Então, após os devidos cálculos apresenta-se graficamente a tonelada equivalente de petróleo em relação a cada biomassa de estudo e pode ser

visualizada no Gráfico 1. Nota-se que a biomassa de casca de arroz teve destaque em relação as demais devido ao seu alto PCI.



Fonte: Autoria Própria, 2018.

Como foi encontrado as energias equivalente de petróleo de cada fonte renovável, podemos encontrar a geração de energia a partir do fator de conversão 0,29 TEP/MWh.

$$E_{bio} = \frac{TEP_{bio}}{\frac{0,29 TEP}{MWh}} \quad (2)$$

Onde:

$E_{bio}$  = Energia da biomassa

Assim, para encontrar a quantidade de energia que pode ser gerada, basta multiplicar o valor encontrado  $E_{bio}$  pela quantidade de resíduo disponível e não aproveitado. Pode-se gerar 2,3 TWh de energia elétrica com o uso da Casca de Arroz, um potencial de geração de aproximadamente 15,5 TWh para o Licor Negro e 91,4 TWh para a biomassa da cana de açúcar, o bagaço. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos deste capítulo.

Tabela 4 - Potencial energético de cada biomassa.

Biomassa	Média de resíduo gerado (10 <sup>3</sup> T)	Média de resíduo não aproveitado (10 <sup>3</sup> T)	TEP	Potencial energético (TWh)
<b>Licor Negro</b>	22.468	17.051,4	0,26	15,5
<b>Bagaço de Cana</b>	154.193	134.379	0,19	91,4
<b>Casca de Arroz</b>	3.154	2.628	0,29	2,6

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Realizando uma breve comparação para avaliar o quanto essa energia impactaria nas atuais demandas energéticas do país, utilizou-se os dados dos consumos por região geográfica, disponível no Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 ano base 2016.

Figura 12 – Tabela de consumo por região geográfica (GWh).

	2012	2013	2014	2015	2016	Δ% (2016/2015)	Part. % (2016)
<b>Brasil</b>	<b>327.498</b>	<b>336.732</b>	<b>354.164</b>	<b>349.574</b>	<b>337.132</b>	<b>-3,6</b>	<b>100</b>
Norte	18.677	19.913	21.523	22.288	21.874	-1,9	6,5
Nordeste	61.113	64.561	68.083	68.420	68.038	-0,6	20,2
Sudeste	157.543	160.783	167.103	163.132	155.385	-4,7	46,1
Sul	64.087	63.883	68.194	66.179	62.891	-5,0	18,7
Centro-Oeste	26.078	27.592	29.261	29.556	28.945	-2,1	8,6

Fonte: EPE, 2017.

É possível notar que a região Sudeste é a que contém o maior consumo de energia, isso significa cerca de 46,1% de participação da matriz brasileira. Essa região detém a maior população do Brasil e a classe dos consumidores industriais.

Em comparação ao potencial de energia que pode ser gerado pela Casca de Arroz com o consumo da região Sul, local onde se concentram a maior parte da geração desse resíduo, é visto que ajudaria a suprir a demanda que a região. É consumido em média 65,05 TWh ao ano no Sul do país e a energia que poderia ser produzida com o excesso de resíduo é aproximadamente 2,3 TWh, supriria cerca de 2,53% da demanda da região Sul.

Para a comparação do Licor Negro e o Bagaço de Cana, utilizou-se como referência a região Sudeste, já que é o local onde se concentram esses resíduos. A demanda média anual da região é de 160,78 TWh e a energia total que seria capaz de gerar pelas UTE's dessas biomassas é de aproximadamente 106 TWh, que significa em torno de 65% da demanda de energia da região Sudeste.



#### 4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que o objetivo era realizar a análise de forma objetiva do potencial de geração de energia das biomassas estudadas, o artigo se mostra proveitoso e com resultados sólidos para estudos futuros. É notável a existência de fontes energéticas com elevados números de energia disponível e baixos índices de aproveitamento da mesma. Considero por fim que o uso dessa energia para suprir parte da demanda energética brasileira seria consideravelmente alta.

Como o objetivo inicial do projeto era concentrar uma única usina estratégica a nível nacional no país, o estudo abrangeu diferentes biomassas. Entretanto foi observado que não existe a viabilidade dessa implementação, em virtude das longas distâncias em que deveriam ser percorridas.

Logo, se fez necessário limitar o escopo do trabalho e estudar novas alternativas estratégicas. Por esse motivo, o foco desse trabalho é o estudo da casca de arroz. Visto que a geração de energia a partir do bagaço de cana e do licor negro se encontram mais avançadas em relação a casca de arroz. As empresas, que obtém como resíduo essas biomassas, já buscam reaproveitá-las diretamente no processo produtivo.

### **CAPÍTULO 3. METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DE TERMELÉTRICA A BIOMASSA**

#### 5.1 NOTAS INTRODUTÓRIAS

Como estudado no Capítulo 1 e 2, existe atualmente um potencial energético das biomassas que não são totalmente aproveitadas no Brasil, potencial esse que seria capaz de se representar significativamente na matriz energética.

Visto isso e com o foco na Casca de Arroz, o presente trabalho visa criar uma metodologia para implementar pequenas centrais geradoras que utilizem desse potencial existente e que somente uma parcela mínima vem sendo aproveitada.

### 5.1.1 MÉTODOS CIENTÍFICOS

A palavra método significa procedimento ou uma forma de atingir certas finalidades e ciência é definida como “a busca do conhecimento” (PRODANOV e FREITAS, 2013). Sendo assim, infere-se que método científico são, de certa forma, caminhos designados a obter conhecimento.

Os métodos científicos podem ser divididos por áreas e cada uma delas são expressas de diferentes formas ordenadas para alcançar e investigar a verdade, eles são apresentados e definidos (ARAGÃO e NETA, 2017).

1. Método Indutivo: consiste no uso do raciocínio indutivo, em tirar conclusões gerais a partir da análise dos fatos expostos. Tem premissas fundamentadas em seus argumentos.

2. Método Dedutivo: esse método apresenta uma premissa antecedente e uma particular, a primeira está relacionada com o ponto inicial da questão levantada e a segunda no ponto de chegada. Ao final, está a última proposição que compõe o método, a conclusão final.

3. Método Dialético: o método se baseia na negação da negação que no fim se torna em algo positivo. Fundamentado nessa lei do pensamento, a dialética tem a proposição positiva ao debater a Tese, de forma que se nega a sua contrariedade.

4. Método Hipotético-dedutivo: esse representa o método da tentativa e erro, são testes realizadas pela experimentação e diante do resultado é possível dar prosseguimento a hipótese ou condições para que ela se torna viável.

5. Método Histórico: se baseiam em uma hipótese sustentável, onde consiste em restituir a historicidade dos fatos de forma direta, clara e sem omissão.

6. Método Comparativo: o objetivo do método é analisar os dados obtidos realizados pelas comparações e discutir sobre as divergências encontradas. Pode ser empregado de diversos cenários e níveis de conhecimento e suas análises podem ser abstratas ou concretas.

Os principais objetivos que podem ser considerados no uso de metodologia científica é integrar conhecimentos de diversas áreas; desenvolver o senso de investigação e espírito crítico no pesquisador; relacionar diretamente os estudos

atuais com os já feitos anteriormente; servir de base na construção de trabalhos de cunho científicos (PRODANOV e FREITAS, 2013).

### 5.1.2 PERSPECTIVAS DO SETOR ARROZEIRO

O mercado de grãos apresenta perspectivas de aumento, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento. Para o setor arrozeiro, que é o foco do trabalho, os índices mostram esse aumento, mas no geral são estáveis, conforme apresenta a Figura 13 (CONAB, 2018).

Figura 13 – Projeções do Setor Arrozeiro (10<sup>3</sup> Tonelada).

SAFRA	ATRIBUTOS	TERRITÓRIOS REGIONAIS				
		ARGENTINA	BRASIL	PARAGUAI	URUGUAI	MERCOSUL
2015/16	Produção	1.400,0	10.602,9	671,6	1.304,3	13.978,9
	Consumo	800,0	11.617,6	25,4	78,6	12.521,6
	Exportação	810,8	804,4	831,3	1.388,6	3.835,1
	Estoque Final	629,2	452,9	26,9	88,6	1.197,6
2016/17	Produção	1.327,7	12.327,9	749,3	1.410,0	15.814,9
	Consumo	769,2	11.764,7	25,4	78,6	12.637,9
	Exportação	603,1	873,5	746,3	1.501,4	3.724,3
	Estoque Final	667,7	698,5	7,5	62,9	1.436,5
2017/18	Produção	1.370,8	11.875,0	959,7	1.262,9	15.468,3
	Consumo	784,6	11.838,2	44,8	78,6	12.746,2
	Exportação	692,3	1.250,0	820,9	1.228,6	3.991,8
	Estoque Final	573,8	661,8	104,5	18,6	1.358,7
2018/19	Produção	1.300,0	11.800,0	1.006,0	1.267,1	15.373,1
	Consumo	769,2	11.911,8	59,7	85,7	12.826,4
	Exportação	615,4	1.029,4	970,1	1.142,9	3.757,8
	Estoque Final	501,5	550,0	83,6	57,1	1.192,3

Fonte: CONAB, 2018.

O estudo revela que a perspectiva de safra de 2018/19 será aproximadamente igual a safra de 2017/18, equivalente a 11.800 mil toneladas de arroz. Além de apresentar dados brasileiros, a Figura 13 também mostra os dados estimados das safras de arroz com casca para a Argentina, Paraguai, Uruguai e Mercosul.

Diante disso, o trabalho propõe uma metodologia para implementar usinas termelétricas no Brasil a partir do resíduo do setor arrozeiro, sendo ele a casca de arroz. Para análise dos resultados e tomadas de decisões foi utilizado o software

QGIS, já que a proposta é fazer o uso do Sistema de Informações Geográficas para definir possíveis locais de projetos.

## 5.2 NOTAS METODOLÓGICAS

A criação da metodologia para implementar as UTEs a Biomassa teve em seu primeiro momento a formação de critérios para análise, a fim de servir como filtros para a escolha final dos locais propícios. Foram estipulados e divididos em três principais categorias: ambientais, econômicos e sociais. O Quadro 2 mostra como foram subdivididas as categorias.

Quadro 2 - Critérios de análise.

<b>Critérios Ambientais</b>	Tipo de biomassa Localidade da biomassa Quantidade de biomassa não aproveitada Época de colheita da biomassa
<b>Critérios Econômicos</b>	Custo de investimento Custo de operação e manutenção Custo de transporte Custo com combustível Capacidade instalada Proximidade da linha de transmissão e da malha rodoviária Raio definido entre a biomassa e a usina
<b>Critérios Sociais</b>	Consumidores Demanda de Energia

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Após levantar os dados referentes aos critérios previamente estabelecidos, foi possível mapeá-los com o uso do QGIS e assim definir os prováveis locais de implementação. Para realizar o mapeamento, criou-se tabelas no Excel onde conta com os dados georreferenciados dos municípios brasileiros e suas respectivas quantidades de biomassa disponível. Usou-se os dados do IBGE para verificar a quantidade de arroz por cada localidade.

Após criar a camada de biomassa disponível, os dados cruzam com a camada dos municípios e formam zonas de concentração, onde o mais intensificado é uma região com maior número de disponibilidade. O segundo passo é a adicionar duas novas camadas, a primeira apresenta as linhas de transmissão existentes e a segunda a malha rodoviária existente no Brasil, para assim analisar a proximidade da biomassa disponível com ambas.

### 5.3 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS

Os critérios para a análise ambiental são classificados pelo tipo, quantidade, localidade e período, criou-se o Quadro 3 para dispor claramente os dados levantados.

Quadro 3 - Dados ambientais.

<b>Critérios ambientais</b>	<b>Dados</b>
Tipo	Casca de Arroz
Quantidade de arroz com casca	Total de produção anual: 11.615.634,235 ton (IBGE, 2018)
Quantidade de casca de arroz	Total de geração de casca anual: 2.555.439,532 ton
Localidade	Principais estados: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Tocantins, Mato Grosso e Maranhão (IBGE, 2018)
Época de colheita da biomassa	Norte, Sudeste e Sul: Fevereiro, Março, Abril e Maio. Nordeste: Março, Abril, Maio, Junho e Julho. Centro-Oeste: Março, Abril e Maio. (ABIARROZ, 2019)

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Como visto no Quadro 3, a época da colheita da biomassa se concentra nos meses de Março, Abril e Maio. Segundo Lazzari e Lazzari (20--), o armazenamento do grão pode ser feito em longos prazo, o fator que determina seu tempo é o teor de umidade em que se armazena o arroz com a casca. Para um período de até 6 meses, o teor máximo aceitável é de 13%, de 6 meses a 12 meses esse teor cai para 12% e acima de 12 meses é necessário armazená-lo com no máximo 11% de umidade.

Então, o período da geração de energia pode se manter constante ao longo do ano, basta realizar de forma adequada o seu armazenamento.

Para os dados econômicos, os critérios como: Capacidade instalada, Proximidade da linha de transmissão e da malha rodoviária e Raio definido foram decisivos para a criação da metodologia, os dados relacionados aos custos serão usados futuramente para compor a análise de viabilidade econômica.

As definições desses critérios são dispostas a seguir:

- I. Capacidade Instalada: quando escolhido o valor da potência instalada, é necessário avaliar a quantidade de biomassa necessária para gerar a energia em questão.

- II. Proximidade ao SIN e as Rodovias: essa característica otimiza o processo de duas formas, garante que a energia seja injetada ao SIN e que existe a possibilidade de a biomassa ser transportada até a usina sem a precisão de construir novas estradas, o que acarretaria em um custo extra ao empreendimento.
- III. Raio definido: com a distância entre a biomassa e a usina geradora definida em um certo raio, assegura viabilidade técnica (proximidade e quantidade de biomassa suficiente para gerar a energia desejada) e econômica (custo com o transporte impacta diretamente na disposição da usina) para o projeto.

Com base nisso, é preciso avaliar as formas de geração regularizadas disponíveis atualmente. Para caracterizar se um empreendimento é de micro ou de minigeração distribuída, o Caderno Temático da ANEEL descreve que os mesmos devem utilizar fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada e ter potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW), para micro, e para mini geradoras devem ter potência instalada superior a 75 kW e serem menores ou iguais a 3 megawatt (MW), para empreendimentos onde a fonte energética é hídrica. Já para as demais fontes, esse número aumenta para 5 MW (ANEEL, 2016).

Como a fonte seria renovável e não hídrica, o empreendimento se enquadra na minigeração até 5MW de potência instalada.

Outro fator observado que impacta na escolha da minigeração distribuída, é que seria possível se interligar ao SIN diretamente, caso potência instalada fosse maior, seria necessário criar um sistema de transmissão, adicionando um custo ao projeto de acordo com a Resolução Normativa no 687/2015 da ANEEL.

Por conta disso, o Quadro 4 mostra os dados econômicos que servirão de base para o estudo.

Quadro 4 - Dados econômicos.

<b>Crítérios econômicos</b>	
Capacidade Instalada	Até 5MW
Raio de distância	O raio será definido cartograficamente

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Dentro desse assunto, entra o sistema de compensação de energia, ele permite que a energia gerada por uma central geradora ultrapasse o consumido por uma unidade consumidora, com micro ou minigeração, e seja injetada na rede da distribuidora, de forma a armazenar o excedente e ser abatido posteriormente (ANEEL, 2016). Ele é separado da seguinte forma:

- I. Geração compartilhada: união de consumidores que se encontram na mesma área de concessão ou permissão. São compostas por pessoas físicas, por meio de uma cooperativa, ou jurídicas (consórcio), que tenham a unidade consumidora a partir de micro ou minigeração distribuída. A energia gerada é compensada nas unidades consumidoras cadastradas;
- II. Autoconsumo remoto: consumidores que se encontram na mesma área de concessão ou permissão e que tenha somente um titular, sendo pessoa Jurídica ou Física. A unidade consumidora deve ser obrigatoriamente a partir de micro ou minigeração distribuída;
- III. Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (condomínios): é de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento de micro ou minigeração distribuída. As unidades consumidoras devem estar localizadas na mesma propriedade ou propriedades contíguas.

A definição de consumidores para compensar a energia gerada pela usina, serve de base para definir o critério social. Com a criação de uma cooperativa entre os produtores de arroz da mesma área de concessão, a geração de energia serviria como compensação de energia elétrica para os produtores associados.

A escolha da geração compartilhada é a ideal para o caso de estudo e deverá atender dois requisitos obrigatórios: os produtores deverão ser da mesma área de concessão e a área não deve exceder o raio de distância estipulado entre os produtores e a minigeração distribuída.

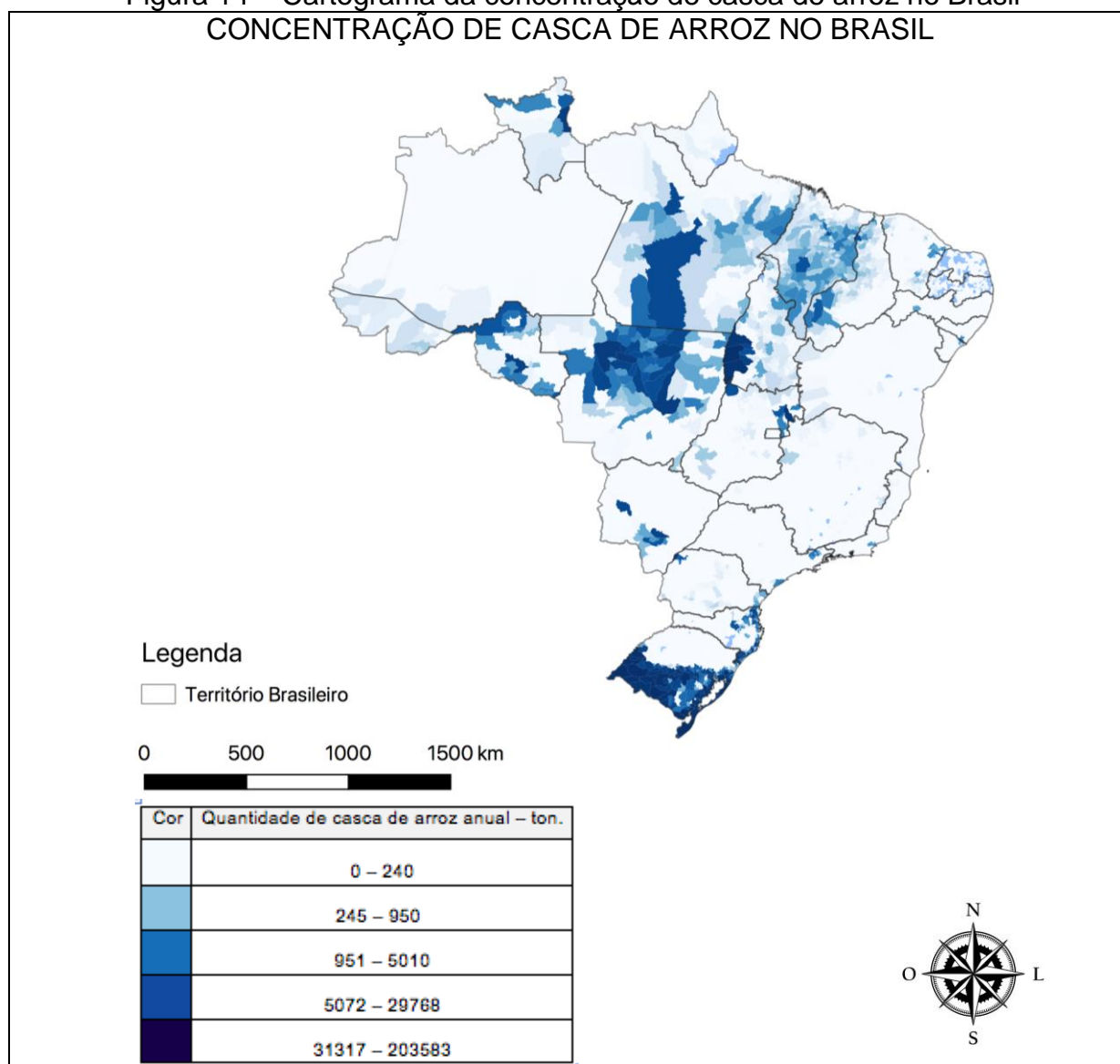
## 5.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No software QGIS, foi criada uma camada onde evidência os pontos de maior concentração de casca de arroz no Brasil. Os dados utilizados para realizar a

simulação no software foram levantados no capítulo 2, onde foi apresentado o total de resíduo não aproveitado no Brasil. Neste segundo momento, os dados passaram a representar a quantidade de resíduos não só em nível nacional, mas também municipal.

Com os dados da quantidade de produção de arroz em cada município, estimou-se o quanto seria casca do peso total e assim construiu o mapa de concentração pelo software. A simulação feita resultou na Figura 14.

Figura 14 – Cartograma da concentração de casca de arroz no Brasil  
CONCENTRAÇÃO DE CASCA DE ARROZ NO BRASIL



Fonte: Autoria Própria, 2018.



As tonalidades de azul da Figura 14 significam a quantidade de casca de arroz, onde as zonas mais intensas representam maiores quantidade do que as regiões mais claras. As seguintes aproximações em toneladas estão dispostas na Tabela 5.

Tabela 5 – Faixas de quantidade de casca de arroz no Brasil.

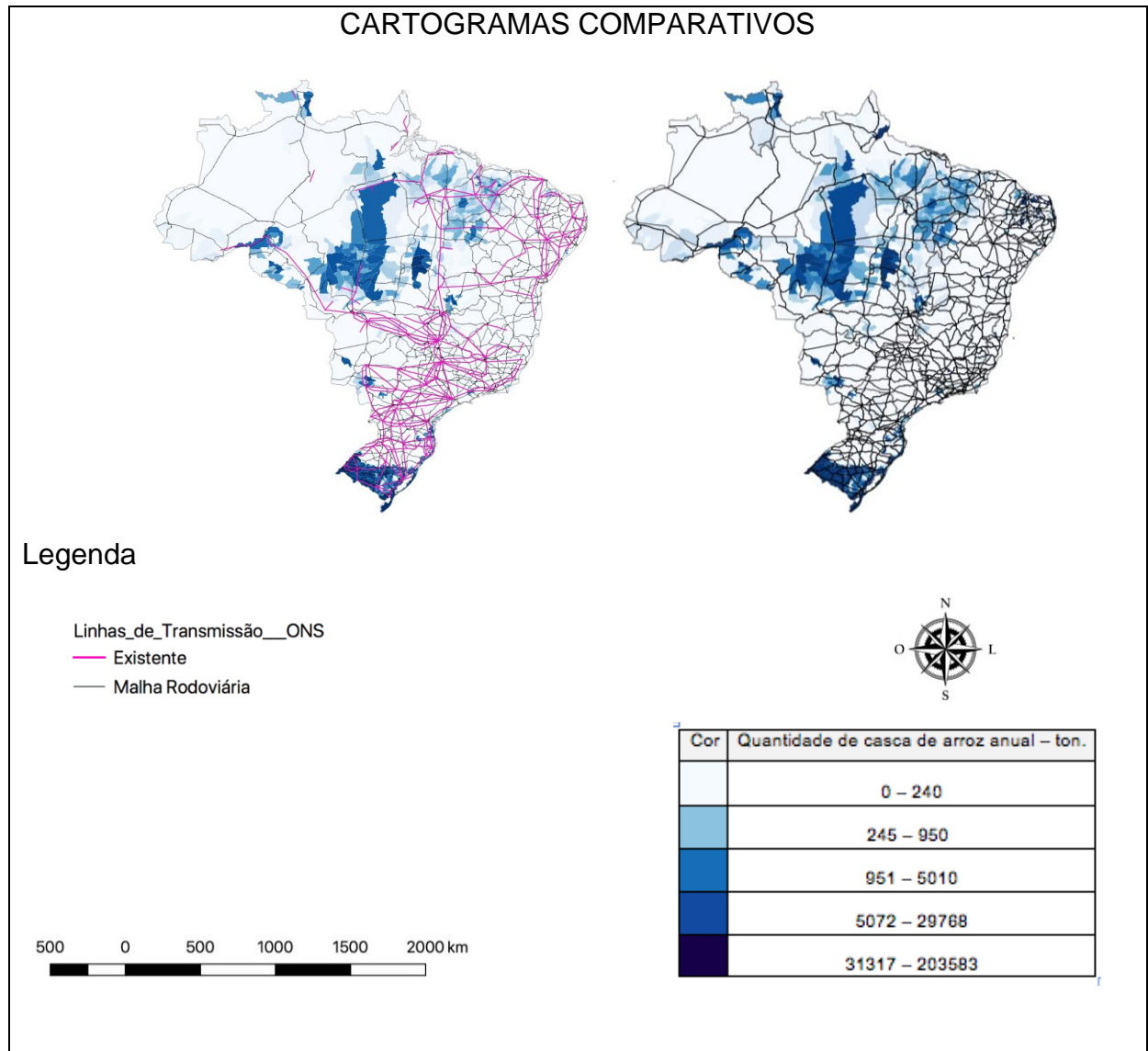
Cor	Quantidade de casca de arroz anual – ton.
	0 – 240
	245 – 950
	951 – 5010
	5072 – 29768
	31317 – 203583

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Agora, em pose do cartograma, é possível estimar visualmente o raio que atenderia as especificações imprescindíveis de projeto, pois é necessário verificar a área aproximada que forneceria a quantidade de biomassa para gerar a energia de uma mini usina termelétrica. Com essa análise e as disposições geográficas das biomassas, um raio definido em 150 km garantiria com segurança a quantidade de toneladas de casca de arroz necessárias para produzir 5MW.

Para a seguinte análise, adicionou-se as camadas de linha de transmissão existente no país e a malha rodoviária, para que assim pudesse ser visualizado a melhor localização possível para implementar usinas. O estudo apresenta o uso do SIG, por meio das análises feitas com os dados georreferenciados. A Figura 15 apresenta os resultados obtidos com essas simulações.

Figura 15 - Cartogramas comparativos sobre casca de arroz, linhas de transmissão existentes e malha rodoviária existente.



Fonte: autoria própria, 2018.

Então, para que pudesse ser feita a análise de possíveis UTE no Brasil, simulou-se ao mesmo tempo as três camadas, uniu-se a camada de linha de transmissão e da malha rodoviária e sobrepôs à concentração de biomassa. O resultado da união das camadas se fez necessário para avaliar tecnicamente as melhores localidades das Usinas.

Em sequência, com uma análise visual do cartograma, pode-se fazer sinais na cor amarela conforme os critérios estipulados, eles foram dispostos atendendo todos seguintes aspectos:

- I. Alta disponibilidade de biomassa;
- II. Proximidade da linha de transmissão;
- III. Proximidade da malha rodoviária;
- IV. Raio de até 150 km de distância para os produtores de arroz;
- V. Não sobrepor usinas termelétricas movidas a casca de arroz existentes.

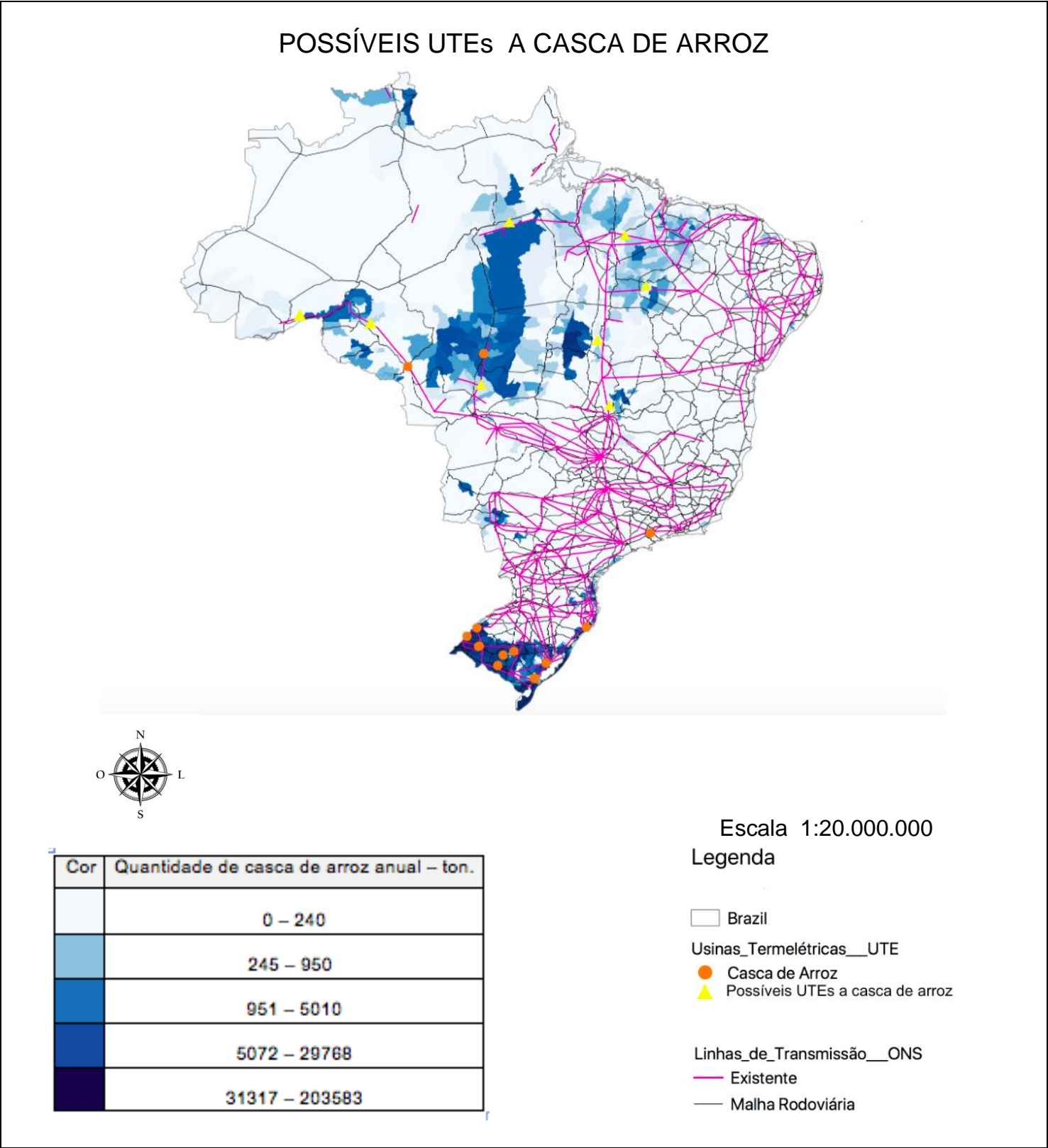
Os aspectos relacionados ao social são analisados dentro do limite de 150 km, garantindo que proprietários de terras produtoras de arroz se filiem a uma cooperativa e tenham sua conta de energia reduzida com a geração a partir dos resíduos gerados em seus próprios empreendimentos.

A relação criada nesse estudo entre os produtores de arroz se mostra vantajosa principalmente do ponto de vista para os pequenos produtores, pois com a união dos mesmos gera no final um acúmulo maior de biomassa disponível concentrados na mesma região. Esse fato atinge diretamente o desenvolvimento social e econômico dos pequenos municípios e eleva a perspectiva de crescimento do setor arrozeiro nessas localidades.

O estudo cria critérios ambientais, sociais e econômicos e depois de definir as características de cada um deles foi possível analisar a influência que um impacta sobre o outro. Quando se define o critério da biomassa de estudo, impacta-se diretamente nos produtores e quando prevê a instalação de uma usina dessa biomassa, o projeto passa a ter benefícios econômicos para a cooperativa criada.

Na Figura 16, para melhor visualização está disposta no apêndice O, estão expostos os possíveis locais de implementação, para cumprir o último aspecto, as UTEs a casca de arroz existentes foram adicionadas no mapa. Os locais previstos seguem todos os critérios estabelecidos. O SIN está representado na cor vermelha e as rodovias em preto. As concentrações de casca de arroz estão nas variações da cor azul e a intensidade de cores continuam sendo válidas pela tabela de cores (Tabela 5).

Figura 16 – Possíveis locais de implementar UTE a casca de Arroz.



Conforme a análise do potencial energético feito no Capítulo 2, seria necessárias cerca de 35.040 toneladas por ano, com a média de 3 mil toneladas por mês, para gerar 5MW mensalmente. Por conta disso, os pontos escolhidos estão próximos de produções que garantem a essa totalidade de biomassa ao ano.

Existem duas regiões que concentram a casca de arroz, uma delas é a região Sul, nela é possível notar que já existe o aproveitamento da casca. Logo, o estudo se faz importante para explorar outras áreas do país, já que reuni próximos produtores afim de gerar a capacidade instalada proposta. Essa observação pode ser feita principalmente no Nordeste.

Todas as usinas são dispostas cartograficamente, já que o QGIS possibilita esse tipo de geração de resultados. Infere-se que existe a viabilidade energética, de transmissão e de transporte da biomassa para implementar 8 mini usinas a biomassa no Brasil, representando 40 MW de potência instalada no país e podendo ser ampliada em outras localidades, contudo, seriam usinas inferiores a 5MW.

## 5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante desse cenário caracterizado, o estudo dessa metodologia foi eficaz e de extrema importância para que exista maior visibilidade desse setor energético, com ele foi possível pré-estabelecer pontos de maiores oportunidades com o intuito de que novos empreendimentos sejam projetados e construídos no Brasil.

Os resultados se mostram interessantes já que a metodologia criada pode se estender a diversos países, bem como os apresentados na Figura 13. Seria necessário somente adequar os critérios de análise e as camadas para cada nova localidade, sendo possível obter de forma objetiva os locais de maiores rendimentos energéticos para implementação de Usinas Termelétricas a biomassa.

Além da diversidade de países que a metodologia se aplica, também é possível diversificar a biomassa. Podem ser utilizados para estudo qualquer outro resíduo agrícola, florestal, da indústria madeireira, de excrementos animais, entre outros. Basta recolher os dados de geração do resíduo, a sua localidade e o seu potencial energético.

## CAPÍTULO 4. VIABILIDADE ECONÔMICA DE TERMELÉTRICA A BIOMASSA

### 6.1 NOTAS INTRODUTÓRIAS

Os parâmetros econômicos utilizados em simulações econômicas são a base para caracterizar a viabilidade de um projeto. Existem critérios relacionados ao tempo de retorno do investimento, as taxas aplicadas ao longo do investimento, as perdas do valor inicial do seu bem, entre outros. Alguns dos conceitos citados, são dispostos nos tópicos a seguir.

#### I. Payback

De acordo com Miranda e Mendes, o payback é o tempo necessário para que o retorno do investimento ocorra. Em outras palavras, é quando as somas das receitas de entrada do empreendimento sejam iguais ao valor do capital investido, de forma que quanto maior for o payback, menos atrativo o projeto se torna.

$$pb = \frac{-\text{Log}\left\{1 - \left[\frac{\text{Inv} \cdot \text{TMA}}{\text{EA}}\right]\right\}}{\text{Log}(1 + \text{TMA})} \quad (3)$$

A Equação 1 traz o cálculo necessário para o payback em função da TMA, onde pb é o *payback*; Inv. é o valor do investimento; TMA é a taxa mínima de atratividade; EA é a economia anual.

#### II. TMA

A Taxa Mínima de Atratividade é, no caso de um investimento, a taxa mínima que um investidor se propõe a ganhar e, quando feito um financiamento, é a taxa máxima que uma pessoa se propõe a pagar. O valor da TMA é inversamente proporcional ao VPL, de forma que a medida que a taxa de atratividade se eleva, o valor presente decai, então a melhor TMA é aquela que garante um maior VPL (LINDEMEYER, 2008).

#### III. VPL

O Valor Presente Líquido (VPL ou NPV, Net Value Present) é a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa que estão associados ao

projeto, isso significa dizer que é a diferença do valor presente de todas as receitas menos o valor presente dos custos totais (SILVA e FONTES, 2005).

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j} \quad (4)$$

A Equação (4) representa o cálculo do VPL, onde R é valor atual das receitas; C é valor atual dos custos; i é taxa de juros; j é igual ao período em que as receitas ou os custos ocorrem; n é número de períodos ou duração do projeto.

Para que o empreendimento seja viável, do ponto de vista econômico, o projeto deve apresentar VPL maior que zero (valor positivo). O melhor projeto é o que apresenta maior VPL (MARTINS E OLIVEIRA, 2011).

#### IV. TIR

A Taxa Interna de Retorno é um indicador importante que significa a taxa de desconto que iguala os fluxos de entradas com os de saídas de caixa. A TIR representa a taxa que produz um VPL igual a zero (KASSAI, 1996).

$$NPV = \frac{FC_0}{(1+TIR)^0} + \frac{FC_1}{(1+TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1+TIR)^2} + \frac{FC_3}{(1+TIR)^3} + \frac{FC_4}{(1+TIR)^4} + \frac{FC_5}{(1+TIR)^5} + \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} \quad (3)$$

A Equação 3 representa esse cálculo, onde FC é Fluxo de caixa esperado. Caso a TIR for maior que a TMA correspondente, infere-se que o projeto será economicamente viável (KASSAI, 1996).

#### V. Depreciação

De acordo com ARRAES, et all, “Depreciação é a alocação sistemática do valor depreciável de um ativo ao longo de sua vida útil”, em outras palavras, é a perda de valor de um bem provocado pelo seu uso ou obsolescência.

### 6.2 NOTAS METODOLÓGICAS

Para a análise da viabilidade econômica, usou-se o software System Advisor Model (SAM), o mesmo tem em seu banco de dados os valores relacionados aos

custos de implementar uma Usina a Biomassa e as receitas geradas com a mesma. Para verificar a viabilidade de implementação das Usinas a Biomassa de 5MW de potência instalada no software, analisou-se os parâmetros como Payback e Valor Presente Líquido (VPL).

Teve-se como base dos cálculos do retorno de investimento payback, da taxa interno de retorno (TIR) e do valor presente líquido (VPL) para segunda metodologia o artigo Techno-economic feasibility study of a biomass-fired power plant in Tucuruí, Brazil, et all (2018). Ambos os modelos foram simulados para 25 anos.

### 6.3 DESCRIÇÃO DOS MODELOS ECONÔMICOS

Os custos inerentes a usinas térmicas que são de fontes renováveis são divididos em seis categorias e cada uma delas representam uma porcentagem, a Figura 17 dispõe dos valores (GOMES, 2016).

Figura 17– Custos de implementação de uma UTE

<b>Custos</b>	<b>Participação no custo total (%)</b>
Projeto	5
Infraestrutura	15
Equipamentos	60
Financeiro	10
Ambiental	5
Transmissão	5
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Fonte: GOMES, 2016. (Adaptada)

De acordo com a Figura 17, o principal custo do projeto está associado aos equipamentos, sendo equivalente a 60% dos custos totais. Dentro desse custo encontra-se os equipamentos como: caldeira, geradores e turbinas.

Os custos associados aos projetos de usinas termelétricas são divididos em: investimento, operação e manutenção, combustível e transmissão (MENDES, 2017). O custo do combustível, nesse caso de estudo, não será contemplado, visto que a



biomassa será reaproveitada de todos os associados da cooperativa, logo não se faz necessária a compra da mesma.

Em relação aos parâmetros de viabilidade, estudos apresentam bons resultados econômicos. A Figura 18 mostra os valores do payback para uma Usina a casca de Arroz de 3MW instalado.

Figura 18 – Tabela de viabilidade econômica de usinas a casca de arroz.

<b>TIR</b>	18,75% a.a.
<b>TIRM</b>	18,21% a.a.
<b>Payback Simples</b>	5 anos e 0 meses
<b>VPL</b>	R\$ 372.622,95

Fonte: PINTO e RABENSCHLAG, 2013 (Adaptada).

Percebe-se que para a usina do estudo em questão, o payback simples do empreendimento é de 5 anos, esse valor representa 25% do tempo total de análise do investimento. Também é possível notar uma VPL positiva, características de um empreendimento viável (PINTO e RABENSCHLAG, 2013). Outro estudo que analisa a viabilidade das usinas a casca de arroz é apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Tabela de análise de viabilidade para usinas a casca de arroz.

<b>Análise de viabilidade</b>	<b>Sem créditos de carbono</b>
Taxa Interna de Retorno	16,80%
Payback	5,5 anos

Fonte: MAYER, et al, 2007 (Adaptada).

No segundo caso, o autor realiza o estudo para uma usina com 280 kW de potência instalada. Nota-se que para esse cenário também existe viabilidade econômica. Apresenta um *payback* de 5,5 anos e uma TIR de 16,8%, ambos parâmetros econômicos são considerados viáveis.

Na análise de viabilidade econômica desse trabalho é utilizado o software (SAM), que é voltado para o setor de energia renovável e a metodologia feita no

trabalho de BRASIL, et all. (2018). O SAM modela o sistema financeiro e de desempenho de projetos para facilitar tomada de decisões, apresenta perspectivas energéticas e de custo para os empreendimentos em análise (SAM, 2010).

O primeiro passo ao criar um novo modelo no SAM é escolher uma opção de tecnologia e como será financiado o projeto. O software preenche automaticamente as variáveis de entrada com seu próprio banco de dados para cada tecnologia existente em sua plataforma, caso não exista algum parâmetro pré-definido em seu banco de dados, ele permite ao usuário configurar como deseja em certos aspectos.

A Figura 20 é a interface de quando se abre o SAM. No primeiro momento ele apresenta as tecnologias que podem ser simuladas e o modelo financeiro desejado.

Figura 20 – Primeiro passo (SAM)

Choose a performance model, and then choose from the available financial models.	
Photovoltaic (detailed)	<b>Commercial (distributed)</b>
Photovoltaic (PVWatts)	PPA single owner (utility)
High concentration PV	PPA partnership flip with debt (utility)
Wind	PPA partnership flip without debt (utility)
<b>Biomass combustion</b>	PPA sale leaseback (utility)
Geothermal	LCOE calculator (FCR method)
Solar water heating	No financial model
Generic system	
CSP parabolic trough (physical)	
CSP parabolic trough (empirical)	
CSP power tower molten salt	
CSP power tower direct steam	
CSP linear Fresnel molten salt	
CSP linear Fresnel direct steam	
CSP dish Stirling	
CSP generic model	
CSP integrated solar combined cycle	
Process heat parabolic trough	
Process heat linear direct steam	

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A tecnologia escolhida será “Combustão da Biomassa” e seu modelo econômico “Distribuído”, já que se trata de uma geração de energia a partir de biomassa e geração distribuída.

O segundo passo é escolher o tipo de biomassa, o que seria matéria prima para o software. Como não tem em seu banco de dados os valores para simular Casca de Arroz, configurou-se manualmente.

Figura 21 – Segundo passo (SAM)

**User-Specified Biomass Feedstocks**

☒ Specify additional feedstocks

**Feedstock 1**

Obtainable feedstock 1 resource: 33302.9 bone dry tons/year

Feedstock 1 Moisture content (wet %): 11 %

☐ Input dry higher heating value (HHV): 0 Btu/dry lb

☒ Calculate HHV based on elemental composition: 6904.01 Btu/dry lb

Carbon content (wt%): 39.11 %

Hydrogen content (wt%): 4.12 %

Nitrogen content (wt%): 0.31 %

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Para preencher os valores do Poder Calorífico Superior (em inglês, higher heating value - HHV), que são as lacunas apresentadas na Figura 21, usou-se como base a Figura 22. É descrito a porcentagem de carbono, hidrogênio e nitrogênio na composição da casca de arroz (PÉCORA, et al, 2014).

Figura 22 – Composição química da Casca de Arroz (Rice Husk)

Biomass	Ultimate Analysis (wt.% on a dry, ash-free basis)				
	C	H	N	S	O
Sugarcane bagasse	45.05	4.86	0.25	nd	38.54
Pine sawdust	46.60	5.37	0.40	nd	39.23
Coffee husk	43.13	5.02	1.55	0.67	33.13
Tucumã seed	48.83	6.12	0.88	nd	33.57
Rice husk	39.11	4.12	0.31	0.59	37.57

Fonte: PÉCORA, et al, 2014. (Adaptada)

Além disso, o software avalia a porcentagem de umidade que contém na biomassa, essa característica irá influenciar diretamente na tonelada equivalente necessária e nos custos envolvidos na geração de energia. Segundo Fernandes, et al. (2015), a média de umidade presente na casca é de 11%, assim foi possível configurar com precisão a composição da biomassa de estudo.

Feito isso, é necessário definir os parâmetros de custos envolvidos no projeto. O SAM conta com os parâmetros já pré-definidos para um empreendimento a biomassa. A Figura 23 apresenta o terceiro passo e o valor simulado de 3930,70\$ por cada kW.

Figura 23 – Terceiro passo (SAM)

Direct Capital Costs		Cost per capacity (\$/kW)	Total (\$)
Boiler(s)	5,000.0 kW	750.00	3,749,999.75
Turbine and generator capacity	5,000.0 kW	510.00	2,549,999.75
Fuel Handling Equipment	5,000.0 kW	330.00	1,649,999.88
Dryer capacity	5,000.0 kW	140.00	699,999.94
Other equipment cost	5,000.0 kW	270.00	1,349,999.88
Balance of plant	4,700.0 kW	480.00	2,255,999.75
Contingency as percent of direct costs	30		3,466,799.75
		<b>Total direct costs</b>	<b>15,722,799.00</b>

Indirect Capital Costs		% of Direct Cost	Non-fixed Cost (\$)	Fixed Cost (\$)	Total (\$)	
Engineer, Procure, Construct (EPC)	20	3,144,559.75	0.00	3,144,559.75		
Project, Land, Miscellaneous (PLM)	5	786,139.94	0.00	786,139.94		
Sales tax rate of	0 %	applies to	80 %	of direct cost	0.00	
					<b>Total indirect costs</b>	<b>3,930,699.75</b>

Total Installed Costs	
Total installed cost	19,653,498.00 \$
Total installed cost per capacity	3930.70 \$/kW

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Por se tratar de um software americano, suas unidades de energia e moeda estão no padrão usual dos Estados Unidos, logo seus custos são dispostos em dólares. Considerando a conversão de dólar para real equivalente a R\$ 3,8 reais, os resultados obtidos serão convertidos para análise (VALOR, 2018).

O quarto passo é simular o projeto e analisar os resultados obtidos. Foram feitas simulações para quatro diferentes casos e a Tabela 6 resume os cenários.

Tabela 6 – Cenários simulados na análise de viabilidade econômica.

Cenário	Financiamento (%)	Depreciação (%)
1	100	0
2	80	0
3	100	0,7
4	80	0,7

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Os dois primeiros consideram variações na porcentagem do financiamento e sem depreciação, os dois últimos terão as mesmas mudanças no financiamento e a taxa de depreciação alterada.

Em relação ao outro método de estudo, BRASIL, et al. (2018) apresenta os valores em reais associados a um projeto de UTE a biomassa. A partir de sua modelagem, foi dimensionado para uma usina 5MW de potência instalada o custo total em reais e está resumido no Quadro 5.

Quadro 5 – Custos do Empreendimento.

<b>Crítérios econômicos</b>	<b>Custos em reais</b>
Custos da Implementação	Valor para usinas de até 5MW: R\$ 23.355.000,00
Custos da Operação e Manutenção (anuais)	Operação: R\$ 700.650,00 Variáveis: R\$ 504.000,00
Custos com Transporte (anuais)	Transporte: R\$ 2.636.479,58
<b>Total</b>	<b>5.439,23 R\$/kW</b>

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Com os custos definidos, basta determinar o valor de mercado do MWh, pois esse valor será correspondente as entradas do fluxo de caixa. No início de 2019, o custo do kWh teve um aumento considerável de 83%, passou de 142 R\$/MWh para 260 R\$/MWh (CCEE, 2019). Para os casos de estudo, serão avaliados os dois cenários na metodologia BRASIL, et al. Na simulação do software SAM, será usado somente o cenário de alta no preço do MWh.

## 6.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram divididos nas duas metodologias estudadas.

### 6.4.1 METODOLOGIA SAM

Os dados obtidos relacionados a quantidade necessária de biomassa para gerar 5MW de potência instalada estão aproximados dos cálculos referentes ao Capítulo 3, a Tabela 7 apresenta os resultados.

Tabela 7 – Diferença entre a quantidade de biomassa calculada.

Metodologia	Quantidade de Biomassa (ton)
Capítulo 2 - Potencial Energético	35.040
SAM	33.302,9

Fonte: Autoria Própria, 2018.

As simulações feitas pelo SAM foram dispostas nos Apêndices A a D e a Tabela 8 foi feita para uma melhor comparação entre os cenários

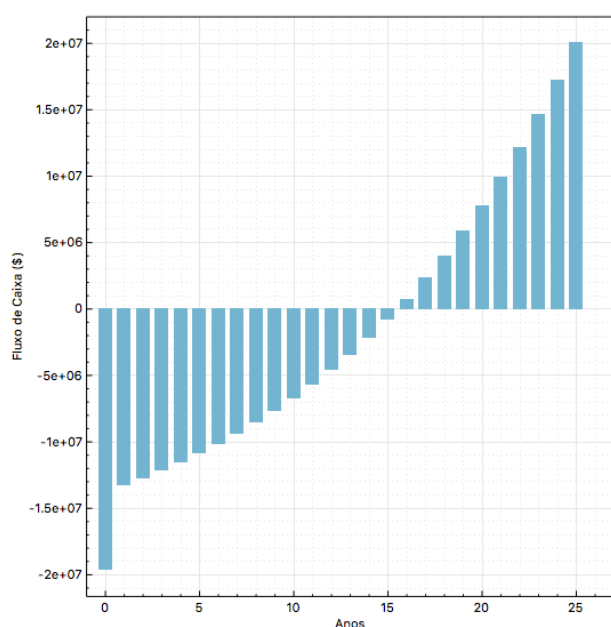
Tabela 8– Resultados do Payback e VPL do empreendimento (SAM).

Cenário	Payback (anos)	VPL (reais)
1	15,5	3.091.303,8
2	15,5	484.279,60
3	18,3	-
4	18,3	-

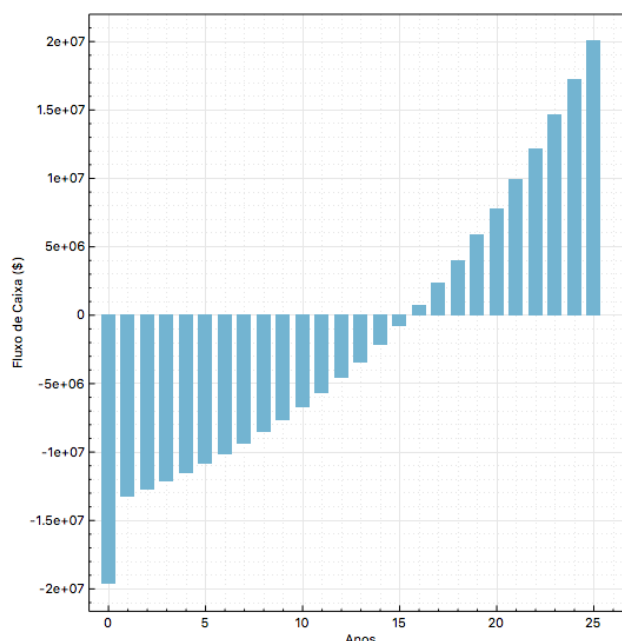
Fonte: Autoria Própria, 2018.

Por esse software, foi possível gerar os gráficos de Fluxo de Caixa dos casos.

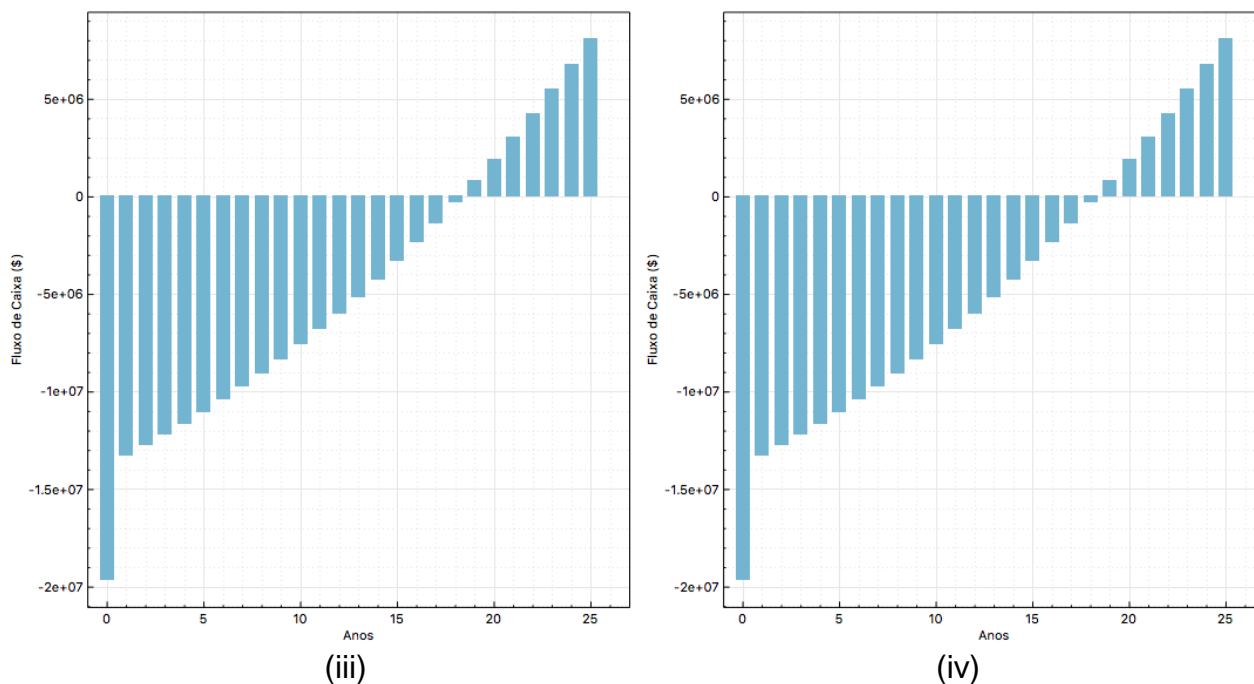
Gráfico 2 – Fluxos de Caixa (i) Cenário 1. (ii) Cenário 2. (iii) Cenário 3. (iv) Cenário 4.



(i)



(ii)



Fonte: Autoria Própria, 2018.

Os gráficos gerados são dispostos em ordem e são enumerados do Gráfico 2 (i) ao (iv). Diante dos resultados obtidos pelo software SAM, é possível verificar que o cálculo realizado para encontrar o *Payback* não varia conforme altera o valor do financiamento. Pode-se inferir que é tido como base de cálculo o valor total do custo associado ao projeto, independente se houve previamente um valor financiado ou não.

Apesar disso, o SAM apresentou viabilidade de implementação de UTE a biomassa de até 5MW de potência instalada no cenário 1 e 2, casos em que não houveram depreciação. O cenário 1 foi o que apresentou o melhor desempenho em relação as simulações feitas, teve um *payback* de aproximadamente 15,5 anos e um VPL de 3,091 milhões de reais.

#### 6.4.2 METODOLOGIA 2

Conforme definido os valores dos custos referentes a implementação das usinas a casca de arroz, de acordo com BRASIL, et all (2018), foi possível fazer o estudo de viabilidade e encontrar os parâmetros econômicos.

No primeiro momento foi feita a simulação, as simulações dos cenários se encontram nos apêndices de E a H e a Tabela 9 dispõe o resumo obtido na primeira análise, considerando um cenário pessimista de 142 R\$/MWh.

Tabela 9 – Resultados do *Payback*, VPL e TIR do empreendimento (Cenário Pessimista).

Cenário	<i>Payback</i> (anos)	VPL (milhões de reais)	TIR (%)
1	20	-121,72	-
2	16	- 86,69	- 5,93
3	-	- 137,50	-
4	23	- 102,64	-

Fonte: Autoria Própria, 2018.

O *payback* no cenário 2, onde considera 80% do projeto financiado e sem depreciação, apresenta o menor valor de *payback* quando comparado aos demais, mas seu VPL e TIR se encontram negativos, o que significa inviabilidade financeira no projeto. Dentre todas as simulações, nenhum Valor Presente Líquido é maior que zero, assim como a Taxa Interna de Retorno, então todos os cenários se tornam inviáveis.

Quando foi considerado o aumento para o 260 R\$/kWh, 3 dos 4 casos apresentam viabilidade de implementação. Na Tabela 10 é possível verificar que o cenário que mais apresenta vantagem é o 2, visto que ele projeta um *payback* de 4 anos, o VPL de 88,98 milhões e uma TIR de 27%.

Tabela 10 – Resultados do *Payback*, VPL e TIR do empreendimento (Cenário Otimista).

Cenário	<i>Payback</i> (anos)	VPL (milhões de reais)	TIR (%)
1	5	54,11	21,15
2	4	88,98	27,10
3	7	-14,43	13,20
4	6	20,44	18,00

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Se analisarmos os valores encontrados com a revisão bibliográfica, verifica-se que estão próximos. No caso de um empreendimento sem financiamento, o valor do *payback* é igual aos encontrados nos dois casos de estudo.

Quando comparado os resultados do melhor cenário do programa SAM e do



modelo proposto por BRASIL, et all. (2018), podemos verificar que ocorre grandes variações. Nos dois casos todos os parâmetros de entrada foram considerados iguais: quantidade de biomassa, valor do MWh, taxa de depreciação e financiamento, tempo de análise, custo do combustível e distância percorrida.

Os custo em cada uma delas se tornou diferente, pois são duas metodologias distintas. Para os custo fixos, o SAM conta com um banco de dados automático (Imagem 23) e gera o valor para cada equipamento em cima da capacidade instalada, além disso contabiliza um acréscimo de 30% para considerar as incertezas esperadas nas estimativas dos custo diretos. No segundo método, esses custo são calculados de uma forma mais geral, considera o valor de investimento de 4.671,00 R\$/kW e é considerado como custo fixo, 3% do valor total investido.

Já para os custos variáveis o SAM calcula 20% em cima dos custos fixos, como mostrado na Imagem 21, e na segunda metodologia os mesmo são obtidos multiplicando o total de MW gerado ao longo do ano por 14, total apresentado no Quadro 6.

Por fim, é obtido o custo final do kW instalado em cada análise, onde na primeira obteve 3.930,70 \$/KW (aproximadamente 14.936,66 R\$/kW) e na segunda 5.439,23 R\$/kW. Diante disso, o melhor cenário do simulado no SAM teve um payback de 15,5 anos e um VPL de 3,091 milhões de reais e pela metodologia usada por BRASIL, et all (2018) obteve um payback de 4 anos e o VPL de 88,98 milhões de reais.

Esses resultados se distanciam e se justificam justamente no momento em que é feito uma análise do custo final empregado em cada valor do kW. Quando se faz a conversão de dólar para real é notável que a quantidade de custo envolvido se torna cerca de 2,8 vezes maior, entretanto a entrada do fluxo de caixa é a mesma para ambos. Consequentemente, o segundo método apresenta um tempo de retorno do investimento menor e um valor presente líquido melhor.

## 6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto de análise econômica de usinas termelétricas a casca de arroz de minigeração distribuída são viáveis conforme os dados apresentados de VPL e payback nos dois primeiros casos de análise pelo software SAM. Visto que na

literatura, para que um empreendimento seja economicamente viável, seu Valor Presente Líquido deve ser positivo.

Na segunda metodologia, verificou-se que o projeto é inviável em todos os casos de análise quando o valor do kWh está no cenário pessimista. Isso significa dizer que o fluxo de caixa não terá entradas suficientes para viabilizar a construção das usinas. Quando esse valor tem um aumento considerável, apresenta 3 cenários viáveis, onde o melhor é o segundo, já que apresenta um o menor payback e maiores VPL e TIR.

Um dos principais problemas na análise de viabilidade do SAM foi sua biblioteca estar nas unidades americanas, esse fato, no momento de conversão de moedas, encareceu consideravelmente o projeto. Caso existisse alguma proporcionalidade de custos dos equipamentos e/ou mão de obra para outros países ou diferentes moedas em seu banco de dados, os resultados seriam mais próximos da realidade.

Outro fator em que o SAM não apresenta boa eficiência é relacionado ao cálculo do payback com as variações de entradas no momento do financiamento, assim a metodologia feita por BRASIL, et al (2018) apresenta melhor desempenho nesse quesito e os resultados que podem ser atingidos são mais realistas.

Entretanto, pode ser observado como vantagem o cálculo da tonelada necessária para gerar a quantidade de energia necessária. O modo como o software calcula o potencial energético das biomassas que não estão em seu banco de dados, apresenta duas maneiras diferentes, além de poder incluir a porcentagem de umidade contida na mesma. Esse diferencial pode ser considerado um ponto altamente vantajoso quando o dimensionamento se baseia em uma quantidade de geração de energia fixa e deseja-se obter o mais próximo da realidade o equivalente de combustível.

Por outro lado, a segunda metodologia visa empreendimentos que têm previsão de serem instalados no Brasil. A forma de cálculo apresentada é facilmente aplicada, se as entradas estiverem bem definidas, como por exemplo a quantidade de biomassa, raio onde a mesma se encontra, quantidade de energia que deseja ser instalada e o preço de venda do MWh, a metodologia atende a necessidade de realizar uma análise de viabilidade econômica de forma objetiva.

Com isso, deve-se levar em conta o projeto de estudo para tomar a decisão de qual modelo econômico seguir. No caso desse trabalho, onde é avaliado para mini usinas a casca de arroz no Brasil, se encaixa melhor a segunda metodologia adotada.

## **7 CONCLUSÃO FINAL**

Na construção metodológica pelo método Hipotético – Dedutivo foi notável que a maior vantagem encontrada nesse modelo é que após uma tentativa não bem sucedida, a busca em encontrar a solução se mostra em resultados mais confiáveis, uma vez que é testada até alcançar dados satisfatórios. Como por exemplo o terceiro passo, onde não se tornou viável a hipótese levantada em criar uma Usina a nível Nacional com resíduos por todo o país e a decisão seguinte foi limitar um raio e restringir a uma única biomassa.

Por outro ponto de vista, o método acaba por ter uma ampla imprevisibilidade, já que após inúmeras tentativas é possível não obter nenhum dado concreto para dar a sequência desejada.

O método para implementar Usinas a Biomassa, que foi construído e discutido nesse trabalho, apresenta uma ampla aplicação já que o pesquisador pode definir a localidade e a biomassa de estudo, para isso basta realizar o levantamento específico dos dados necessários, assim como foi feito.

Outra facilidade que foi observada nessa metodologia é o auxílio direto na tomada de decisões para viabilizar tecnicamente a implementação das UTEs a Biomassa, já que a análise é feita em pontos estratégicos: proximidade e disponibilidade da biomassa, das linhas de transmissão e da malha rodoviária existente.

O tema proposto no trabalho teve como base três pilares, sendo eles a análise de viabilidade econômica, visto no capítulo 4 que apresenta bons resultados. Em segundo o estudo da demanda de energia do Brasil, análise feita no capítulo 2 onde mostra como as usinas impactam com sua geração de energia nas regiões brasileiras e em terceiro a garantia que a biomassa dá para uma geração constante ao longo do ano.

Os pilares são para evidenciar que as Usinas a Biomassa são viáveis no ponto de vista financeiro e apresentam uma vantagem em relação as outras energias renováveis, a periodicidade em sua geração. Esses fatores, quando somados com o crescimento da demanda de energia no país, vêm para consolidar o uso dessa fonte de energia e abrir espaço para a matriz energética.

Explicitando o caso de estudo, é visto que se torna tecnicamente viável a implementação de 8 mini usinas termelétricas a biomassa, totalizando uma potência instalada de 40 MW. Com essa energia seria capaz de duplicar o potencial dessa fonte energética no país, visto que atualmente essas usinas geram cerca de 45 MW, com a diferença de que no caso de estudo são apenas 8 usinas e existem 12 em funcionamento, logo o método proposto seria aproximadamente 34% mais eficiente.

Para otimizar o método, o ideal seria trabalhar com um banco de dados de diversos potenciais energéticos e diferentes fontes de energia, ambos em conjunta análise econômica de implementação, para não restringir a uma única fonte de energia, mas sim avaliar qual seria a mais vantajosa (técnica e economicamente) para o local de projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIARROZ. Associação Brasileira da Indústria do Arroz (2019). Sumário Executivo, Abril 2019.
- AGEITEC. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (2018). PERSPECTIVA PARA AGROPECUÁRIA. Volume 6. Brasília.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (2002). ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL. 1ª Edição.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (2008). ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL. 3ª Edição.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações de Geração, 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em 30 de maio de 2018.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (2016). CADERNOS TEMÁTICOS: MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA. Sistema de compensação de energia elétrica. 2ª Edição.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (2017). PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO. Volume 6-8.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (2015). Resolução Normativa nº 687/2015 da ANEEL.
- ARAGÃO, José W. M. NETA, Maria A. H. M. (2017) METODOLOGIA CIENTÍFICA. Salvador.
- ARRAES, Cleber Barros, et al (2013). IMPLANTAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE DEPRECIAÇÃO E REAVALIAÇÃO DE BENS MÓVEIS: A EXPERIÊNCIA DO PODER EXECUTIVO DO ESTADO DO TOCANTINS. Tocantins.
- BERNARDO, André. Participação de usinas de cana na geração de energia do país poderia ser seis vezes maior. Disponível em: <<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI326727-18537,00-PARTICIPACAO+DE+USINAS+DE+CANA+NA+GERACAO+DE+ENERGIA+DO+PAIS+PODERIA+SER+SE.html>> Acesso em 21 de junho de 2018.



- KASSAI, José Roberto (1996). CONCILIAÇÃO ENTRE A TIR E ROI: UMA ABORDAGEM MATEMÁTICA E CONTÁBIL DO RETORNO DO INVESTIMENTO. Fortaleza.
- LAZZARI, Flávio A. LAZZARI, Sonia M. N. (20--). RECEBIMENTO, SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE ARROZ EM CASCA. Curitiba.
- LINDEMEYER, Ricardo Matsukura (2008). ANÁLISE DE VIABILIDADE DE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO USO DO BIOGÁS COMO FONTE DE ENERGIA ELÉTRICA. Dissertação de Graduação – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2008.
- MARTINS, Franco M. OLIVEIRA, Paulo A. V. (2011). ANÁLISE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS NA SUINOCULTURA. Eng, Agríc., Jaboticabal, v.31, p.477-486, maio/jun. 2011.
- MAYER, Flávio. et all (2007). VIABILIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DA CASCA DE ARROZ: UM ESTUDO DE CASO. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, Paraná.
- MENDES, Livia G. (2007) ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE UMA USINA TERMELÉTRICA USANDO MODELAGEM ESTOCÁSTICA E TERIA DE OPÇÕES REAIS. Dissertação de Graduação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- MIRANDA, Diego Alves de. MENDES, Emanuelli Caroline. ANÁLISE DE PAYBACK APLICADO NO PROCESSO DE AUTOMATIZAÇÃO DE PODAS NA PRODUÇÃO DE BUXUS (2018). Congresso Nacional de Inovação e Tecnologia. Santa Catarina.
- MULLER, M. D. (2005) PRODUÇÃO DE MADEIRA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NUMA PLANTAÇÃO CLONAL DE EUCALIPTO EM ITAMARANDIBA. Minas Gerais.
- MUNIZ, Rafael. (2002). EDUCAÇÃO E BIOMASSA. Florianópolis.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente (2010). MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. DESTAQUE DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.
- MME. Ministério de Minas e Energia. (2008). COMBUSTÃO E GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA SÓLIDA. 1° Ed.

MME. Ministério de Minas e Energia. (2017). PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA 2026 (PDE).

NOTA TÉCNICA CGEI nº 01 /98 de 22 de setembro de 1998.ELETRICIDADE NO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN. Disponível em <<http://ecen.com/eee11/eletrben.htm>>. Acesso em 25 de maio de 2018.

OLIVEIRA, J. M. C.; LOBO, P. C. (2000). AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE RESÍDUOS DE BIOMASSA AMAZÔNICA. Minas Gerais.

ORELLANA, B. B. M. A. (2015) QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA E POTENCIAL ENERGÉTICO DE TACHIGALI VULGARIS EM ÁREAS PLANTADAS NO ESTADO DO AMAPÁ. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Brasília.

PACHECO, Fabiana. (2006). ENERGIAS RENOVÁVEIS: BREVES CONCEITOS. ECONOMIA EM DESTAQUE.

PÉCORA, Arai A.B, et all (2014). PREDICTION OF THE COMBUSTION PROCESS IN FLUIDIZED BED BASED ON PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF BIOMASS PARTICLES AND THEIR HYDRODYNAMIC BEHAVIORS. Fuel Processing Technology 124 p.188-197, São Paulo, 2014.

PELLEGRINI, Maria Cristina. (2002). INSERÇÃO DE CENTRAIS COGERADORAS A BAGAÇO DE CANA NO PARQUE ENERGÉTICO DO ESTADO DE SÃO PAULO: Exemplo de aplicação de metodologia para análise dos aspectos locais e de integração energética.

PINTO, Frederico A. RABENSCHLAG, Denis R. (2013). VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DA CASCA DE ARROZ PARA GERAÇÃO DE ENERGIA. IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Rio Grande do Sul, Santa Maria, 2013.

POLI, Dora de Castro Rubio, et all (2013). UMA AVALIAÇÃO DAS METODOLOGIAS PARA DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. Revista de Ciências Exatas, v. 8. Anhanguera Educacional LTDA.

PRODANOV, Cleber Cristiano. FREITAS, Ernani Cesar. (2013) METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico, 2ª Edição. Rio Grande do Sul.



SAM. System Advisor Model (2010). Disponível em: <<https://sam.nrel.gov>> Acesso em 20 de novembro de 2018.

SANTOS, Paulo Renato dos. (2007) ANÁLISE TERMODINÂMICA DE UM SISTEMA DE COGERAÇÃO COM GASEIFICAÇÃO DE LICOR NEGRO. Campinas.

SILVA, José Lázaro Pinheiro da. (2011). APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA MADEIREIRA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – O CASO DA EMPRESA B. K. ENERGIA ITACOATIARA LTDA NO ESTADO DO AMAZONAS. Curitiba.

SILVA, Márcio Lopes. FONTES, Alessandro Albino (2005). DISCUSSÃO SOBRE OS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL), VALOR ANUAL EQUIVALENTE (VAE) E VALOR ESPERADO DA TERRA (VET). R. Árvore, Viçosa – MG, v.29, n.6, p.931-936, 2015.

VALOR. Valor Econômico, Principios editoriais. Disponível em <<https://www.valor.com.br/valor-data>>. Acesso em 21 de novembro de 2018

## APÊNDICE

Apêndice A – Simulação de viabilidade - SAM Cenário 1. (Valores aproximados em reais)

Metric	Value
Annual energy (year 1)	36,383,440 kWh
Annual biomass usage (year 1)	33,303 dry tons/yr
Capacity factor (year 1)	83.1%
Levelized COE (nominal)	10.46 ¢/kWh
Levelized COE (real)	4.66 ¢/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$111,985
Electricity bill with system (year 1)	\$-2,419,056
Net savings with system (year 1)	\$2,531,041
Net present value	\$813,501
Simple payback period	15.5 years
Discounted payback period	NaN
Net capital cost	\$19,653,498
Equity	\$0
Debt	\$19,653,498

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Apêndice B – Simulação de viabilidade - SAM Cenário 2. (Valores aproximados em reais)

Metric	Value
Annual energy (year 1)	36,383,440 kWh
Annual biomass usage (year 1)	33,303 dry tons/yr
Capacity factor (year 1)	83.1%
Levelized COE (nominal)	10.63 ¢/kWh
Levelized COE (real)	4.74 ¢/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$111,985
Electricity bill with system (year 1)	\$-2,419,056
Net savings with system (year 1)	\$2,531,041
Net present value	\$127,442
Simple payback period	15.5 years
Discounted payback period	NaN
Net capital cost	\$19,653,498
Equity	\$3,930,700
Debt	\$15,722,798

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Apêndice C – Simulação de viabilidade - SAM Cenário 3. (Valores aproximados em reais)

Metric	Value
Annual energy (year 1)	36,383,440 kWh
Annual biomass usage (year 1)	33,303 dry tons/yr
Capacity factor (year 1)	83.1%
Levelized COE (nominal)	11.04 ¢/kWh
Levelized COE (real)	5.05 ¢/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$111,985
Electricity bill with system (year 1)	\$-2,419,056
Net savings with system (year 1)	\$2,531,041
Net present value	\$-2,355,834
Simple payback period	18.3 years
Discounted payback period	NaN
Net capital cost	\$19,653,498
Equity	\$0
Debt	\$19,653,498

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Apêndice D – Simulação de viabilidade - SAM Cenário 4. (Valores aproximados em reais)

Metric	Value
Annual energy (year 1)	36,383,440 kWh
Annual biomass usage (year 1)	33,303 dry tons/yr
Capacity factor (year 1)	83.1%
Levelized COE (nominal)	11.22 ¢/kWh
Levelized COE (real)	5.13 ¢/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$111,985
Electricity bill with system (year 1)	\$-2,419,056
Net savings with system (year 1)	\$2,531,041
Net present value	\$-3,041,893
Simple payback period	18.3 years
Discounted payback period	NaN
Net capital cost	\$19,653,498
Equity	\$3,930,700
Debt	\$15,722,798

Fonte: Autoria Própria, 2018.

### Apêndice E – Simulação de viabilidade Cenário 1

Depreciação	1,00	Taxa de Retorno	15%
Investimento	1,00		

ANÁLISE DE VIABILIDADE	
-23.355.000,00	1.270.870,42
-22.172.794,96	1
-20.990.589,92	2
-19.808.384,88	3
-18.626.179,84	4
-17.443.974,81	5
-16.261.769,77	6
-15.079.564,73	7
-13.897.359,69	8
-12.715.154,65	9
-11.532.949,61	10
-10.350.744,57	11
-9.168.539,53	12
-7.986.334,50	13
-6.804.129,46	14
-5.621.924,42	15
-4.439.719,38	16
-3.257.514,34	17
-2.075.309,30	18
-893.104,26	19
289.100,78	20
1.471.305,81	21
2.653.510,85	22
3.835.715,89	23
5.017.920,93	24
6.200.125,97	25

VPL (reais)	-121.722.354,10
TIR (%)	#NUM!
PAYBACK (anos)	20

Fonte: Autoria Própria, 2018.

### Apêndice F – Simulação de viabilidade Cenário 2

Depreciação	1,00	Taxa de Retorno	15%
Investimento	0,80		

ANÁLISE DE VIABILIDADE	
-18.684.000,00	1.270.870,42
-17.501.794,96	1
-16.319.589,92	2
-15.137.384,88	3
-13.955.179,84	4
-12.772.974,81	5
-11.590.769,77	6
-10.408.564,73	7
-9.226.359,69	8
-8.044.154,65	9
-6.861.949,61	10
-5.679.744,57	11
-4.497.539,53	12
-3.315.334,50	13
-2.133.129,46	14
-950.924,42	15
231.280,62	16
1.413.485,66	17
2.595.690,70	18
3.777.895,74	19
4.960.100,78	20
6.142.305,81	21
7.324.510,85	22
8.506.715,89	23
9.688.920,93	24
10.871.125,97	25

VPL (reais)	-86.857.313,72
TIR (%)	5,93
PAYBACK (anos)	16

Fonte: Autoria Própria, 2018.

## Apêndice G – Simulação de viabilidade Cenário 3

Depreciação	0,70	Taxa de Retorno	15%
Investimento	1,00		
<b>ANÁLISE DE VIABILIDADE</b>			
-23.355.000,00	889.609,29	VPL (reais)	-137.503.208,43
-22.527.456,47	1	TIR (%)	#NUM!
-21.699.912,95	2	PAYBACK (anos)	-
-20.872.369,42	3		
-20.044.825,89	4		
-19.217.282,36	5		
-18.389.738,84	6		
-17.562.195,31	7		
-16.734.651,78	8		
-15.907.108,26	9		
-15.079.564,73	10		
-14.252.021,20	11		
-13.424.477,67	12		
-12.596.934,15	13		
-11.769.390,62	14		
-10.941.847,09	15		
-10.114.303,57	16		
-9.286.760,04	17		
-8.459.216,51	18		
-7.631.672,98	19		
-6.804.129,46	20		
-5.976.585,93	21		
-5.149.042,40	22		
-4.321.498,88	23		
-3.493.955,35	24		
-2.666.411,82	25		

Fonte: Autoria Própria, 2018.

## Apêndice H – Simulação de viabilidade Cenário 4

Depreciação	0,70	Taxa de Retorno	15%
Investimento	0,80		
<b>ANÁLISE DE VIABILIDADE</b>			
-18.684.000,00	889.609,29	VPL (reais)	-102.638.168,06
-17.856.456,47	1	TIR (%)	#NUM!
-17.028.912,95	2	PAYBACK (anos)	23
-16.201.369,42	3		
-15.373.825,89	4		
-14.546.282,36	5		
-13.718.738,84	6		
-12.891.195,31	7		
-12.063.651,78	8		
-11.236.108,26	9		
-10.408.564,73	10		
-9.581.021,20	11		
-8.753.477,67	12		
-7.925.934,15	13		
-7.098.390,62	14		
-6.270.847,09	15		
-5.443.303,57	16		
-4.615.760,04	17		
-3.788.216,51	18		
-2.960.672,98	19		
-2.133.129,46	20		
-1.305.585,93	21		
-478.042,40	22		
349.501,12	23		
1.177.044,65	24		
2.004.588,18	25		

Fonte: Autoria Própria, 2018.

### Apêndice I – Simulação de viabilidade Cenário 1

Depreciação	1,00	Taxa de Retorno	15%
Investimento	1,00		

ANÁLISE DE VIABILIDADE	
-23.355.000,00	5.518.870,42
-18.221.167,05	1
-13.087.334,11	2
-7.953.501,16	3
-2.819.668,22	4
2.314.164,73	5
7.447.997,67	6
12.581.830,62	7
17.715.663,57	8
22.849.496,51	9
27.983.329,46	10
33.117.162,40	11
38.250.995,35	12
43.384.828,29	13
48.518.661,24	14
53.652.494,19	15
58.786.327,13	16
63.920.160,08	17
69.053.993,02	18
74.187.825,97	19
79.321.658,91	20
84.455.491,86	21
89.589.324,81	22
94.723.157,75	23
99.856.990,70	24
104.990.823,64	25

VPL (reais)	54.107.450,80
TIR (%)	21,15
PAYBACK (anos)	5

Fonte: Autoria Própria, 2018.

### Apêndice J – Simulação de viabilidade Cenário 2

Depreciação	1,00	Taxa de Retorno	15%
Investimento	0,80		

ANÁLISE DE VIABILIDADE	
-18.684.000,00	5.518.870,42
-13.550.167,05	1
-8.416.334,11	2
-3.282.501,16	3
1.851.331,78	4
6.985.164,73	5
12.118.997,67	6
17.252.830,62	7
22.386.663,57	8
27.520.496,51	9
32.654.329,46	10
37.788.162,40	11
42.921.995,35	12
48.055.828,29	13
53.189.661,24	14
58.323.494,19	15
63.457.327,13	16
68.591.160,08	17
73.724.993,02	18
78.858.825,97	19
83.992.658,91	20
89.126.491,86	21
94.260.324,81	22
99.394.157,75	23
104.527.990,70	24
109.661.823,64	25

VPL (reais)	88.972.491,18
TIR (%)	27,10
PAYBACK (anos)	4

Fonte: Autoria Própria, 2018.

### Apêndice K – Simulação de viabilidade Cenário 3

Depreciação	0,70	Taxa de Retorno	15%
Investimento	1,00		

ANÁLISE DE VIABILIDADE	
-23.355.000,00	3.863.209,29
-19.761.316,94	1
-16.167.633,88	2
-12.573.950,81	3
-8.980.267,75	4
-5.386.584,69	5
-1.792.901,63	6
1.800.781,43	7
5.394.464,50	8
8.988.147,56	9
12.581.830,62	10
16.175.513,68	11
19.769.196,74	12
23.362.879,81	13
26.956.562,87	14
30.550.245,93	15
34.143.928,99	16
37.737.612,05	17
41.331.295,12	18
44.924.978,18	19
48.518.661,24	20
52.112.344,30	21
55.706.027,36	22
59.299.710,43	23
62.893.393,49	24
66.487.076,55	25

VPL (reais)	-14.422.345,01
TIR (%)	13,20
PAYBACK (anos)	7

Fonte: Autoria Própria, 2018.

### Apêndice L – Simulação de viabilidade Cenário 4

Depreciação	0,70	Taxa de Retorno	15%
Investimento	0,80		

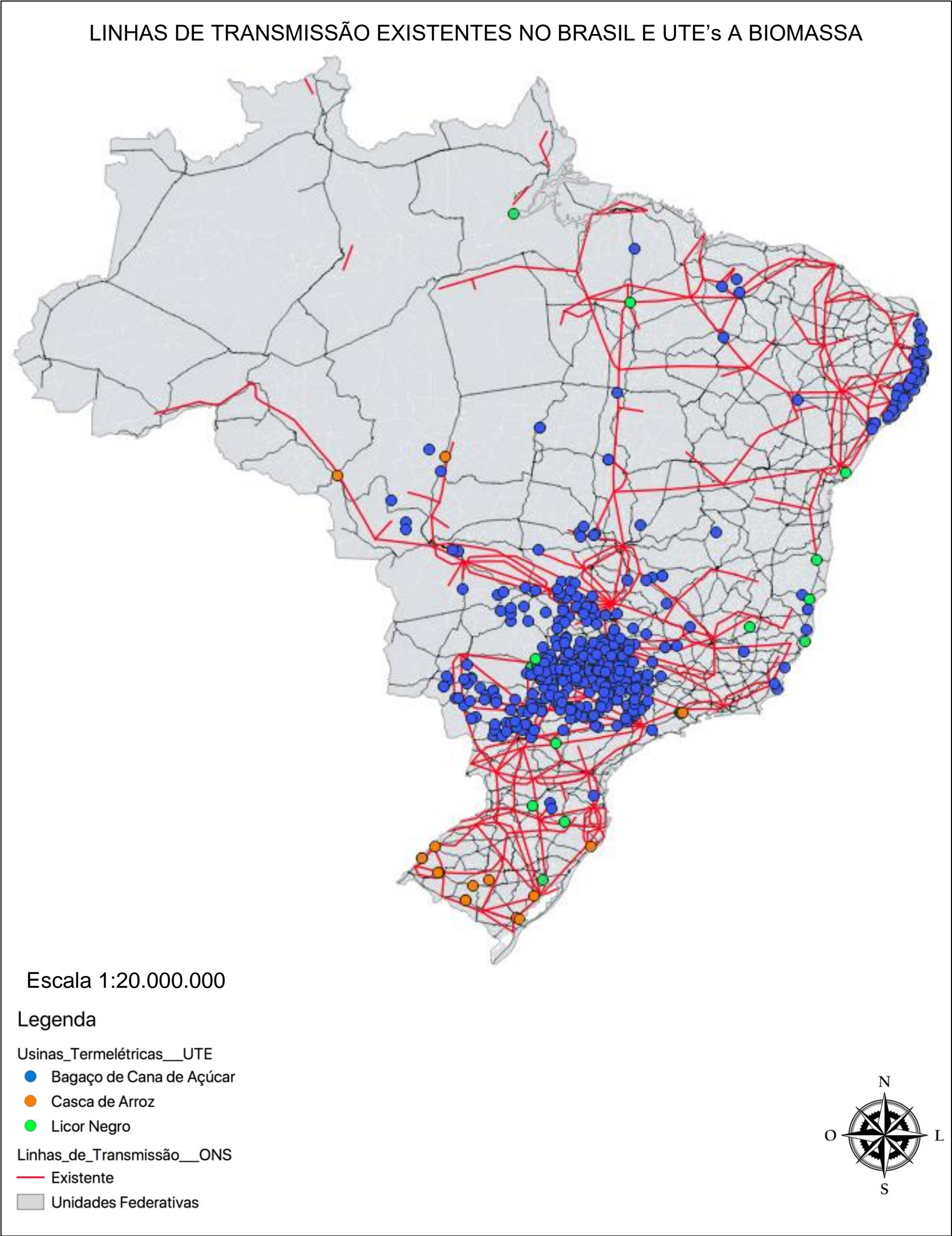
ANÁLISE DE VIABILIDADE	
-18.684.000,00	3.863.209,29
-15.090.316,94	1
-11.496.633,88	2
-7.902.950,81	3
-4.309.267,75	4
-715.584,69	5
2.878.098,37	6
6.471.781,43	7
10.065.464,50	8
13.659.147,56	9
17.252.830,62	10
20.846.513,68	11
24.440.196,74	12
28.033.879,81	13
31.627.562,87	14
35.221.245,93	15
38.814.928,99	16
42.408.612,05	17
46.002.295,12	18
49.595.978,18	19
53.189.661,24	20
56.783.344,30	21
60.377.027,36	22
63.970.710,43	23
67.564.393,49	24
71.158.076,55	25

VPL (reais)	20.442.695,37
TIR (%)	18,00
PAYBACK (anos)	6

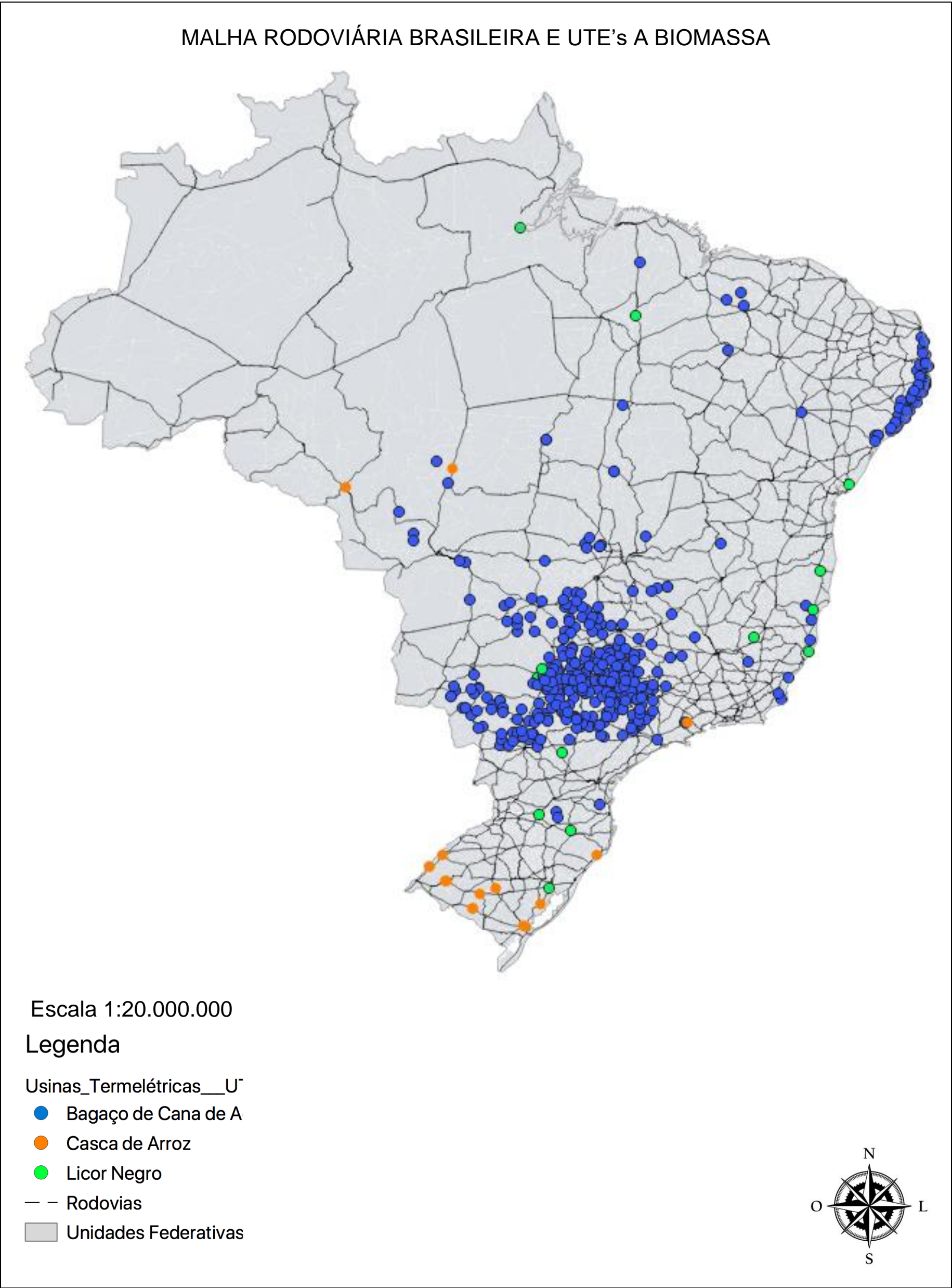
Fonte: Autoria Própria, 2018.







Apêndice N – Cartograma das linhas rodoviárias e usinas termelétricas no Brasil



Fonte: Autoria Própria, 2018.

Apêndice O – Cartograma das Usinas estratégicas a casca de arroz no Brasil.

